CLEISEANO EMANUEL DA SILVA PANIAGUA
(ORGANIZADOR)

Collection:

APPLIED ENVIRONMENTAL AND SANITARY ENGINEERING 2

Atena
Editora
Ano 2022

CLEISEANO EMANUEL DA SILVA PANIAGUA
(ORGANIZADOR)

Collection:

APPLIED ENVIRONMENTAL AND SANITARY ENGINEERING 2

Atena Editora
Ano 2022

Editora chefe
Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
Editora executiva
Natalia Oliveira
Assistente editorial
Flávia Roberta Barão
Bibliotecária
Janaina Ramos
Projeto gráfico
Bruno Oliveira
Camila Alves de Cremo
Daphynny Pamplona
Luiza Alves Batista
Natália Sandrini de Azevedo
Imagens da capa
iStock
Edição de arte
Luiza Alves Batista

2022 *by Atena Editora*
Copyright © Atena Editora
Copyright do texto © 2022 Os autores
Copyright da edição © 2022 Atena Editora
Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.
Open access publication by Atena Editora

Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial
Ciências Exatas e da Terra e Engenharias
Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre
Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie
Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Mariane Aparecida Freitas
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizador: Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C697 Collection: applied environmental and sanitary engineering 2 / Organizador Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2022.

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia
ISBN 978-65-5983-988-9
DOI: https://doi.org/10.22533/at.ed.889220305

1. Environmental and sanitary engineering. I. Paniagua, Cleiseano Emanuel da Silva (Organizador). II. Título.
CDD 628

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná – Brasil
Telefone: +55 (42) 3323-5493
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA E ENGENHARIAS

Atena Editora
Ano 2022

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access, desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce,* ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.

PRESENTATION

The e-book: “Collection: Applied Environmental and Sanitary Engineering 2” consists of fifteen chapters that present works that aimed to contribute both to improving the quality and health of the environment and man, as well as to the development of technologies to reduce costs and improve the quality of basic sanitation, remedying and reducing the environmental impacts resulting from human activities.

Waste management in Brazil is “invisible” in the eyes of government plans at the municipal level, which is why precarious sanitation conditions prevail in most municipalities. In view of this, the scientific community has been reiterating through numerous studies, the need to implement systems for the collection and final disposal of waste in an environmentally more correct way.

The basic sanitation system in Brazil has been restructuring itself due to security and information technology that helps to monitor and automate water and sewage treatment systems, the final disposal of waste, the loss of water resources due to failures or ruptures of pipe among others. Added to this, the numerous software that are developed to improve operating systems that can present information in real time and operation in continuous flow, helping operators.

Finally, the study and development of new treatment technologies from agro-industry residues or from new technologies that aim to implement and improve the efficiency of existing conventional processes,

In this perspective, Atena Editora has been working with the aim of stimulating and encouraging researchers from Brazil and other countries to publish their work with a guarantee of quality and excellence in the form of books and book chapters that are available on the Editora’s website and elsewhere. digital platforms with free access.

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 ..... **1**

563 – COMO A GESTÃO DE RESÍDUOS É TRATADA NOS PLANOS DE GOVERNO DOS(AS) CANDIDATOS(AS) À PREFEITOS(AS)

Cristiane Ferreira Pimenta
Henrique Ferreira Ribeiro

https://doi.org/10.22533/at.ed.8892203051

CAPÍTULO 2 ..... **8**

ESTUDO COMPORTAMENTAL DE USINAS DE BENEFICIAMENTO DE RESÍDUOS CLASSE A DA CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO

Cristiane Ferreira Pimenta
Henrique F. Ribeiro

https://doi.org/10.22533/at.ed.8892203052

CAPÍTULO 3 ..... **24**

QUANTIFICAÇÃO E COMPOSIÇÃO DOS RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL EM ÁREAS DE TRANSBORDO E TRIAGEM

Cristiane Ferreira Pimenta
Henrique F. Ribeiro

https://doi.org/10.22533/at.ed.8892203053

CAPÍTULO 4 ..... **33**

COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS ALIMENTARES DO RESTAURANTE UNIVERSITÁRIO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

Deysiane Antunes Barroso Damasceno
Marcos Oliveira Dantas
Mônica de Abreu Azevedo

https://doi.org/10.22533/at.ed.8892203054

CAPÍTULO 5 ..... **44**

II-1785 - SETORIZAÇÃO DE UM SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO I – DETERMINAÇÃO DAS CARGAS ORGÂNICAS

Moema Felske Leuck
Carlos André Bulhões Mendes

https://doi.org/10.22533/at.ed.8892203055

CAPÍTULO 6 ..... **65**

MANAGEMENT OF FLUORESCENT LAMPS: A CASE STUDY IN THE METROPOLITAN REGION OF RECIFE, PERNAMBUCO, BRAZIL

Eduardo Antonio Maia Lins
Marília Gabriela Jonas de Santana
Andréa Cristina Baltar Barros
Adriane Mendes Vieira Mota
Maria Clara Pestana Calsa

Adriana da Silva Baltar Maia Lins

https://doi.org/10.22533/at.ed.8892203056

CAPÍTULO 7 75

ONLINE MONITORING OF THE MUNICIPAL SOLID WASTE COLLECTION SYSTEM

Eduardo Antonio Maia Lins
Roger Ramos Azevedo
Fuad Carlos Zarzar Júnior
Joaquim Teodoro Romão de Oliveira

https://doi.org/10.22533/at.ed.8892203057

CAPÍTULO 8 83

IMPLEMENTATION OF IMPROVEMENT ACTIONS IN THE SOLID WASTE MANAGEMENT PROCESS IN SMALL AND MEDIUM CITIES: CASE STUDY OF THE MUNICIPALITY OF PATROCÍNIO LOCATED IN THE STATE OF MINAS GERAIS – BRAZIL

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua
Bruno Elias dos Santos Costa
Valdinei de Oliveira Santos

https://doi.org/10.22533/at.ed.8892203058

CAPÍTULO 9 95

A IMPORTÂNCIA DE INVESTIMENTOS EM SEGURANÇA DA INFORMAÇÃO PARA AS OPERADORAS DE SERVIÇO DE SANEAMENTO: UM OLHAR SOB OS INCIDENTES DIVULGADOS

Carlos Henrique Jorge
Dalton Issao Ito
Mariana Espindola de Souza
André Gambier Campos

https://doi.org/10.22533/at.ed.8892203059

CAPÍTULO 10 111

AQUACAD-PLUGIN: SIMULAÇÕES HIDRÁULICAS NO AUTOCAD

Luis Henrique Magalhães Costa
Arthur Brito Gomes
Letícia de Vasconcelos Rodrigues
David Ermerson Farias Eugênio

https://doi.org/10.22533/at.ed.88922030510

CAPÍTULO 11 122

AQUACAD: CONVERSÃO ONLINE ENTRE ARQUIVOS DOS PROGRAMAS DA PLATAFORMA CAD, GIS E DOS SIMULADORES EPANET E SWMM

Luis Henrique Magalhães Costa
Guilherme Marques Farias

https://doi.org/10.22533/at.ed.88922030511

CAPÍTULO 12 ..... **131**

APLICAÇÃO DO TANK MODEL NA MODELAGEM DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PIRANHAS EM GOIÁS

Tales Dias Aguiar
Débora Pereira da Silva

https://doi.org/10.22533/at.ed.88922030512

CAPÍTULO 13 ..... **142**

UTILIZAÇÃO DE BAMBU "DENDROCALAMUS LATIFLORUS" COMO CAMADA SUPORTE EM FILTRO ANAERÓBIO PARA REMOÇÃO DE DBO E DQO EM TRATAMENTO DE EFLUENTES SANITÁRIO

Fagner Moreira de Oliveira
Adão Genilson Pereira

https://doi.org/10.22533/at.ed.88922030513

CAPÍTULO 14 ..... **149**

DEGRADAÇÃO DE ANTIDEPRESSIVOS RESIDUAIS E CAFEÍNA EM ÁGUA, ESGOTO DOMÉSTICO E LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO EMPREGANDO FOTÓLISE DIRETA

Ismael Laurindo Costa Junior
Adelmo Lowe Plestch
Yohandra Reyes Torres

https://doi.org/10.22533/at.ed.88922030514

CAPÍTULO 15 ..... **167**

AVALIAÇÕES ECOTOXICOLÓGICAS DE CONTAMINAÇÕES CAUSADAS POR BIFENILAS POLICLORADAS: UMA REVISÃO

Rhayane Andrade Junior
Rosana Gonçalves Barros
Viníciu Fagundes Barbara

https://doi.org/10.22533/at.ed.88922030515

SOBRE O ORGANIZADOR **178**

ÍNDICE REMISSIVO **179**

CAPÍTULO 1

563 – COMO A GESTÃO DE RESÍDUOS É TRATADA NOS PLANOS DE GOVERNO DOS(AS) CANDIDATOS(AS) À PREFEITOS(AS)

Data de aceite: 01/04/2022

Cristiane Ferreira Pimenta
Engenheira Ambiental. Mestre em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental, pesquisa em Planejamento e Gestão de Áreas de Beneficiamento de Resíduos da Construção e Demolição. Sócia e coordenadora de projetos na Ambiência Soluções Sustentáveis, empresa especializada em soluções para demandas relacionadas à gestão e gerenciamento de resíduos

Henrique Ferreira Ribeiro
Engenheiro Ambiental. MBA em Gestão Estratégica de Negócios. Sócio fundador das empresas Ambiência Soluções Sustentáveis e NETResíduos, ambas especializadas em soluções para gestão e gerenciamento de resíduos, sendo a segunda um software de gerenciamento de dados

RESUMO: Os governantes do poder executivo, no modelo político brasileiro, detêm grande parte do direcionamento das ações políticas prioritárias que serão desenvolvidas ao longo dos seus mandatos. As problemáticas ambientais têm sido objeto de pressão da população aos governantes porém, essas questões não costumam aparecer muito nas campanhas eleitorais por ainda não serem geradoras de votos. Estando o manejo resíduos incluído nos serviços de saneamento, e se atentando para aumento indiscriminado da geração desses materiais, é legítima a preocupação em como a chefia do Executivo se posiciona sobre o tema. Através da avaliação dos planos de governos dos(as) candidatos(as) aos cargos de prefeito(a) e vice prefeito(a) nas 10 maiores capitais brasileiras – por população pretende-se investigar a importância dada pelos candidatos das prefeituras das maiores capitais brasileiras à gestão de resíduos dos municípios. Observou-se que dos candidatos que possuem plano de governo 71% apresentaram propostas relacionadas à gestão de resíduos, porém as propostas foram pouco detalhadas sendo consideradas mais como uma intenção do que uma meta consolidada.

PALAVRAS-CHAVE: Gestão de resíduos, Planejamento, Políticas Públicas, Eleições Municipais, Planos de Governo.

ABSTRACT: Os governantes do poder executivo, no modelo político brasileiro, detêm grande parte do direcionamento das ações políticas prioritárias que serão desenvolvidas ao longo dos seus mandatos. As problemáticas ambientais têm sido objeto de pressão da população aos governantes porém, essas questões não costumam aparecer muito nas campanhas eleitorais por ainda não serem geradoras de votos. Estando o manejo resíduos incluído nos serviços de saneamento, e se atentando para aumento indiscriminado da geração desses materiais, é legítima a preocupação em como a chefia do Executivo se posiciona sobre o tema. Através da avaliação dos planos de governos dos(as) candidatos(as) aos cargos de prefeito(a) e vice prefeito(a) nas 10 maiores capitais brasileiras – por população pretende-se investigar a importância dada pelos candidatos das prefeituras das maiores capitais brasileiras à gestão de resíduos dos municípios.

Observou-se que dos candidatos que possuem plano de governo 71% apresentaram propostas relacionadas à gestão de resíduos, porém as propostas foram pouco detalhadas sendo consideradas mais como uma intenção do que uma meta consolidada.
KEYWORDS: Gestão de resíduos, Planejamento, Políticas Públicas, Eleições Municipais, Planos de Governo.

INTRODUÇÃO

Os governantes do poder executivo, no modelo político brasileiro, detêm grande parte do direcionamento das ações políticas prioritárias que serão desenvolvidas ao longo dos seus mandatos.

No período eleitoral os candidatos à chefia do executivo devem apresentar à Justiça Eleitoral o seu Plano de Governo (Lei 9.504/1997) documento este que tem o papel de apresentar o sentido que seu governo irá seguir e dizer aos quais ideários servem.

As eleições para prefeitos e vereadores de 2020 tiveram um envolvimento popular com grande peso nos resultados das urnas, o que levou a um olhar sobre a importância dos Planos de Governo apresentados.

As problemáticas ambientais têm sido objeto de pressão da população aos governantes porém, essas questões não costumam aparecer muito nas campanhas eleitorais por ainda não serem geradoras de votos.

A Constituição Federal em seu artigo 23, já em 1988, dizia que:

> "É competência comum da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios:
>
> ...IX - promover programas de construção de moradias e a melhoria das condições habitacionais e de saneamento básico".
>
> Já a lei nº 11.445/2007 em seu artigo 2º define que:
>
> "Os serviços públicos de saneamento básico serão prestados com base nos seguintes princípios fundamentais:
>
> ...III - abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo dos resíduos sólidos realizados de forma adequada à saúde pública".

Estando o manejo resíduos incluído nos serviços de saneamento, e se atentando para aumento indiscriminado da geração desses materiais, é legítima a preocupação em como a chefia do Executivo se posiciona sobre o tema.

Foi possível analisar essa conjuntura através da categorização dos planos de governo disponibilizados pelos candidatos a cargos eletivos do governo municipal em 2020, nas 10 maiores capitais do Brasil, o que permitiu observar quais ações dentro do tema Gestão de Resíduos são prioritárias e discutir se estão de acordo com os anseios da população.

Com a análise realizada pode-se afirmar que mesmo que haja uma porção significativa de candidatos(as) que tenham incluídos em seus planos de governo propostas

relacionadas a gestão de resíduos, e que essas propostas apresentem uma interessante diversidade, nota-se que o tema ainda é pouco valorizado, visto que não há – nas propostas – demonstração clara de conhecimento da realidade do município e há uma nítida ausência de identificação de instrumentos e alternativas que evidenciem e garantam a viabilidade das ações sugeridas.

OBJETIVOS

Em síntese, pretende-se investigar a importância dada pelos candidatos das prefeituras das maiores capitais brasileiras à gestão de resíduos dos municípios aos quais estão pleiteando o cargo do poder executivo.

A referida análise deu-se no intuito de analisar e compreender o lugar da gestão de resíduos nos planos de governo apresentados e qual caminho mostra-se importante para os candidatos. Verificar se os candidatos estão alinhados com as políticas e com as regulamentações já existentes e que já estão em andamento em todo o país pode ser definido como objetivo secundário do presente estudo.

METODOLOGIA UTILIZADA

Para elaboração do presente estudo avaliou-se os planos de governos de todos(as) os(as) candidatos(as) aos cargos de prefeito(a) e vice prefeito(a) nas 10 maiores capitais brasileiras – por população. Desconsiderou-se a cidade de Brasília, terceira maior capital do país, por não contar com eleição municipal, sendo incluída a décima primeira maior capital – Belém/PA.

Esta pesquisa documental, foi realizada entre os dias 14 e 15 de outubro de 2020, através da consulta aos programas dos candidatos, disponibilizados no site do Tribunal Superior Eleitoral.

Não foi considerado como proposta de governo os documentos apresentados pelos(as) candidatos(as) do partido PCO, visto que todos(as) eles(as) protocolaram o mesmo arquivo denominado “Resolução sobre as eleições municipais de 2020” o qual não apresenta propostas específicas para cada município.

Para busca e seleção das propostas relacionadas à gestão de resíduos nos planos de governos foram utilizadas as seguintes palavras chaves: resíduo; lixo; coleta seletiva; reciclagem; e compostagem.

As propostas apresentadas nos planos de governo foram agrupadas em cinco grupos os quais foram definidos considerando temas importantes para a adequada gestão e gerenciamento de resíduos, conforme exigências legais postas e boas práticas do setor, sendo eles:

1) Aspectos estruturantes: consolidam as propostas com temas relacionados ao

Plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos, ações consorciadas com outros municípios, leis relacionadas ao tema e a sustentabilidade econômica e financeira do sistema de limpeza urbana.

2) Incentivos fiscais, financeiros e creditícios: contempla as ações do poder público municipal que visam gerar icentívos aos munícipes e empresas em prol da melhoria das ações relacionadas ao gerenciamento de resíduos nas cidades, como o IPTU verde.

3) Controle, fiscalização e avaliação: considerou as propostas que estão relacionadas à controle, fiscalização do manejo dos resíduos e avaliação dos serviços de limpeza urbana, incluindo, por exemplo propostas de uso de tecnologia e dados relacionados ao tema.

4) Resíduos sólidos urbanos: agrupa as propostas relacionadas à Coleta convencional, Coleta seletiva, Destinação dos resíduos, Deposição clandestina e outros serviços de limpeza pública.

5) Resíduos sólidos especiais e logística reversa: contempla as propostas relacionadas aos resíduos da construção civil (RCC), resíduos de serviços de saúde, ecopontos, carroceiros e logística reversa.

RESULTADOS OBTIDOS

Nos 10 (dez) municípios foco da pesquisa foram registrados no TSE (Tribunal Superior Eleitoral) o total de 129 candidatos(as) ao cargo de prefeito(a), dos quais 116 (90%) apresentaram plano de governo e 92 (71%) apresentaram propostas relacionadas à gestão de resíduos.

Os(as) 92 candidatos(as) que abordam resíduos em seus planos de governo apresentaram 479 propostas relacionadas ao tema, o que resulta em uma média de 5 propostas por candidato(as), sendo que 68% apresentaram até 5 propostas, 20% de 6 a 10 propostas e 12% dos(as) candidatos(as) apresentaram mais de 10 propostas. Deve-se citar ainda que 17% dos candidatos(as) apresentaram somente 1 proposta relacionada à resíduo e a candidata com maior quantidade propostas situa-se na cidade do (Rio de Janeiro), com o total de 27.

As figuras 1 e 2 a seguir apresentam a quantidade de candidatos(as) que apresentaram propostas relacionadas aos grupos e temas definidos na metodologia. A comparação dos dados quantitativos dos empreendimentos é apresentada na Tabela 2, a seguir.

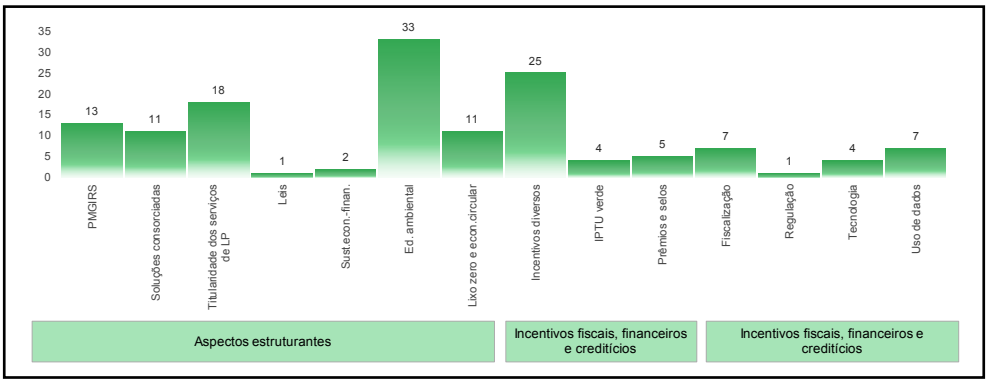

Figura 1: Resultados grupos 1, 2 e 3.

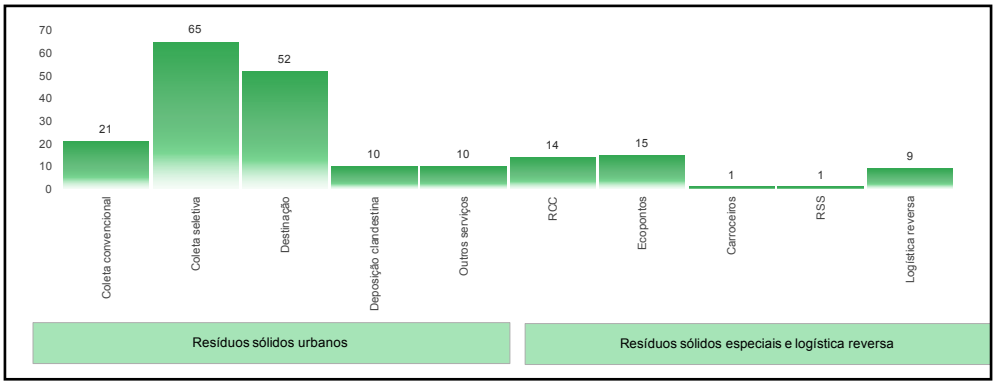

Figura 2: Resultados grupos 4 e 5.

ANÁLISE DOS RESULTADOS

As propostas relacionadas a gestão e gerenciamento de resíduos apresentadas nos planos de governo não apresentam detalhamento das soluções, podendo, de certa forma serem consideradas mais como uma intenção do que uma meta consolidada, característica esperada para planos de governo visto a diversidade de temas que necessitam ser abordados.

Pode-se notar também que os planos de governo, na grande maioria dos casos, não demonstram o embasamento de suas propostas, visto que poucos apresentam diagnóstico da situação atual e que são quase inexistentes as ocorrências de propostas que a considerem a “continuidade” das ações já existentes. É também relevante a pequena ocorrência de propostas que mencionam o PMGIRS (Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos) principal instrumento de planejamento das ações relacionadas aos serviços de limpeza urbana e manejo dos resíduos sólidos.

Outro aspecto importante a ser considerado é a sustentabilidade econômico-financeira dos serviços públicos - a qual, segundo a Lei 11.445/2007 deverá ser “assegurada por

meio de remuneração pela cobrança dos serviços". Somente 2 candidatos(as) apresentam propostas relacionadas ao tema, e não há nenhuma menção à fonte de recursos ou rubrica orçamentária que financiará as ações, não propiciando ao eleitor qualquer garantia da viabilidade das propostas apresentadas.

Quanto aos resíduos sólidos especiais, deve-se citar que não há qualquer menção à soluções relacionadas às significativos geradores, como por exemplo: mineração, indústria e grandes geradores de resíduos com característica domiciliares (como por exemplo: prédios de prestadores de serviços e supermercados) e somente 1 candidato(a) apresenta proposta relacionada aos resíduos de serviço de saúde.

Outra ausência notada, relacionada aos geradores de resíduos sólidos especiais, passíveis de elaboração de Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos, está relacionada ao fato de que nenhum(a) candidato (a) fez menção ao sistema de Manifesto de Transporte de Resíduos - MTR nacional, que tem alto potencial de contribuição ao poder público municipal no que tange o mapeamento do fluxo dos resíduos e fiscalização desses geradores.

Em relação à titularidade do serviço de limpeza pública, mesmo que o liberalismo econômico esteja em constante pauta, sobretudo nos últimos dois anos, nenhum dos(as) candidatos (as) considera a privatização como proposta nos planos de governo.

CONCLUSÕES

As propostas – em geral - não demonstram com clareza a situação atual do município, não citam seu embasamento e não se relacionam aos Planos Municipais de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos, documento que poderia ser a base central de todas as propostas dos postulantes aos cargos de gestor executivo municipal.

Além disso temas importantes foram negligenciados pela maioria ou totalidade dos candidatos (as), como por exemplo viabilidade econômico-financeira, leis municipais e geradores de resíduos sólidos especiais; e mesmo os temas mais divulgados – como coleta seletiva – não apresentam adesão tão significativa como se esperava.

Sem a apresentação do diagnóstico ou avaliação dos PGMIRS não há o embasamento necessário para avaliar o porquê da escolha dos temas e propostas apresentadas. Com isso, não há como avaliar se os(as) candidatos possuem conhecimento efetivo dos desafios enfrentados pelo município na área de resíduos, se de fato as propostas estão alinhadas e visam reverter o quadro atual.

Apesar das citadas ausências, se for considerado que as propostas apresentadas estejam realmente alinhadas aos problemas principais do município não se pode afirmar que poderão ser executadas, visto que faltam propostas relacionadas à viabilidade econômico-financeira e não há menção a fontes de recursos para execução das mesmas.

Além disso, a ausência da vinculação de metas numéricas às propostas deve ser

considerada como um aspecto agravante que dificultará o acompanhamento das ações a serem realizadas futuramente pelos(as) eleitos(as).

Dessa forma, as sugestões para próximos estudos são:

- Comparação do diagnóstico da gestão de resíduos (em um ou mais municípios) com as propostas apresentadas;
- Comparação das ações realizadas (em um ou mais municípios) com as propostas apresentadas pelo candidato(a) eleito(a).

REFERÊNCIAS

1. BRASIL. Constituição (1988). Constituição Da República Federativa Do Brasil. Brasília, 05 out. 1988. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 2 mar. 2021.

2. BRASIL. Lei n° 11.445 de 5 de janeiro de 2007. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico; cria o Comitê Interministerial de Saneamento Básico. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm. Acesso em: 2 de mar. 2021

3. BRASIL. Lei nº 9.504, de 30 de setembro de 1997. Estabelece normas para as eleições. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9504.htm. Acesso em: 2 mar. 2021.

4. BRASIL. Tribunal Superior Eleitoral. Divulgação de Candidaturas e Contas Eleitorais. Disponível em: https://divulgacandcontas.tse.jus.br/divulga/#/. Acesso em: 14 de out. 2020.

CAPÍTULO 2

ESTUDO COMPORTAMENTAL DE USINAS DE BENEFICIAMENTO DE RESÍDUOS CLASSE A DA CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO

Data de aceite: 01/04/2022

Cristiane Ferreira Pimenta
Engenheira Ambiental, Mestranda IFMG

Henrique F. Ribeiro
Engenheiro Ambiental, Ambiência Soluções Sustentáveis

RESUMO: O desenvolvimento dos municípios brasileiros vem ocorrendo de forma desordenada, acarretando impactos ambientais eminentes e resultando na aceleração da urbanização que, por sua vez, influencia no alto índice de geração de resíduos. Os Resíduos da Construção e Demolição (RCD) possuem alto potencial de reciclagem, porém, no Brasil, essa atividade é incipiente, com técnicas inadequadas a um alto custo, e ainda existe pouca informação sistematizada sobre o estado da arte nacional dos RCD, dificultando o avanço da reciclagem destes materiais. Neste contexto, o presente trabalho, através de dados coletados em visitas realizadas em três usinas de beneficiamento de resíduos Classe A, situadas no estado de São Paulo, pretende apresentar, sistematicamente, dados de gestão e operação, que podem auxiliar no planejamento dos investidores do setor e na definição de políticas públicas de incentivo à reciclagem dos RCD. As informações apresentadas neste trabalho mostram que diferentes estratégias de negócios e formas de gerenciamento são utilizadas nas usinas, e que, dessa forma, os empreendimentos possuem características diferentes que atendem às demandas específicas de cada município onde estão instaladas.

PALAVRAS-CHAVE: Áreas Receptoras, Reciclagem, Beneficiamento, Planejamento, Políticas Públicas.

1 I INTRODUÇÃO

O desenvolvimento dos municípios do Brasil vem ocorrendo de forma desordenada, acarretando impactos ambientais eminentes, com diversas consequências para o meio ambiente e para a qualidade de vida da população. Esse desenvolvimento resulta na aceleração da urbanização que, por sua vez, influencia no alto índice de geração de resíduos provenientes das atividades de construção, reformas e demolição, com consequentes problemas ambientais de difícil solução.

Toda a legislação brasileira que aborda a gestão e o gerenciamento dos resíduos define a política dos 3Rs - redução, reutilização e reciclagem - como princípio para auxílio no enfrentamento das dificuldades oriundas do alto índice de descarte de materiais. Dentre as três técnicas sugeridas pelas normativas, a reciclagem se difere por ser alternativa preferencialmente pós-descarte, que se resume em transformar os resíduos em novos recursos, trazendo-os de volta à cadeia produtiva.

Os Resíduos da Construção e Demolição (RCD) possuem alto potencial de reciclagem,

em torno de 96%, no caso de obras de construção de grande porte, segundo Pimenta *et a*l (2016), que calcula que, desse total, em média, 60% é classificado como Classe A -Entulho para agregado.

A reciclagem é uma alternativa para tratamento dos resíduos que colabora para o conceito de engenharia sustentável, definição apontada por Fonseca (2014), que vem sendo almejada cada vez mais pelo setor de construção, devido ao alto número de benefícios relacionados com a preservação de recursos naturais e aumento da vida útil dos aterros.

Miranda, Ângulo e Careli (2009) investigaram a história da reciclagem da fração Classe A dos RCD no Brasil e descobriram que essa atividade foi iniciada na década de 90, com aumento considerável, após a homologação da Resolução CONAMA nº 307/2002, marco legal responsável pela regulação dos agentes e ações relacionados à cadeia dos RCD.

Mesmo com o crescimento do número de usinas de reciclagem de RCD Classe A no Brasil, os autores afirmam que, em 2009, somente 4,5% do total dos resíduos gerados poderiam ser processados. Além disso, Silva (2012) complementa que as usinas existentes no país não possuem técnicas adequadas a um preço acessível, condição essencial para o bom desenvolvimento do setor.

Ainda, de acordo com Miranda, Ângulo e Careli (2009), os diversos atores que impulsionam o crescimento do país, incluindo o meio científico, a indústria e o poder público, vêm contribuindo para o progresso da reciclagem dos resíduos, mas não obstante, existe pouca informação sistematizada sobre o estado da arte nacional de RCD, dificultando o desenvolvimento da atividade.

Atualmente, no Brasil, existem várias usinas de reciclagem, a maioria administrada por municipalidades e algumas poucas pela iniciativa privada. Os resultados sociais e ambientais têm sido favoráveis, apesar de todas as dificuldades encontradas pelos seus administradores: técnicas, legais e sociais (Cunha, 2007).

Neste contexto, este trabalho pretende, através da análise de dados coletados em visitas técnicas realizadas em três usinas de reciclagem de resíduos da construção e demolição Classe A, suprir a demanda de informações a respeito das usinas existentes, auxiliando no planejamento dos investidores do setor e na definição de políticas públicas de incentivo à reciclagem.

2 | METODOLOGIA

A Resolução CONAMA nº 307/2002 e suas alterações estabelecem diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção e demolição, sendo a normativa principal utilizada pelos agentes do manejo dos RCD, no que se refere à todas as etapas do fluxo desses materiais.

A referida Resolução classifica os resíduos da construção e demolição e estabelece

as destinações adequadas para cada classe de resíduo, conforme mostrado no Quadro 1.

Classe	Descrição	Destinação
Classe A	Resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, inclusive solos provenientes de terraplanagem, componentes cerâmicos, argamassa e concreto.	Deverão ser reutilizados ou reciclados na forma de agregados, ou encaminhados a áreas de aterro de resíduos da construção civil, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura.
Classe B	Resíduos recicláveis para outras destinações, tais como plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras, embalagens vazias de tintas imobiliárias e gesso.	Deverão ser reutilizados, reciclados ou encaminhados a áreas de armazenamento temporário, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura.
Classe C	Resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis, que permitam a sua reciclagem ou recuperação.	Deverão ser armazenados, transportados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas.
Classe D	Resíduos perigosos oriundos do processo de construção.	Deverão ser armazenados, transportados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas.

Quadro 1 - Classificação e destinação dos RCD.

Fonte: Resolução CONAMA nº 307/2002.

O presente estudo valeu-se de pesquisa documental das experiências de reciclagem de RCD Classe A, realizadas em todo o Brasil, visitas à algumas usinas de reciclagem, com coleta e análise dedados, sendo então definido como descritivo, segundo Cervo et al (2007), e como documental, por Calado & Ferreira(2005).

Mesmo os resíduos provenientes das atividades de construção e demolição sendo enquadrados nas Classes A, B, C e D, as usinas visitadas beneficiam somente os resíduos Classe A, o que pode ser justificado, principalmente, pelo fato desses representarem a maior parcela do total de resíduos gerados pelas atividades de construção e por existirem poucas soluções para os mesmos no país.

Para o desenvolvimento do estudo, inicialmente foi realizada uma pesquisa para identificação das usinas existentes no país, através de publicações na literatura técnica e acadêmica, eventos do setor (seminários e congressos), material disponível na Internet e dados comerciais. Das usinas de reciclagem de resíduos da construção e demolição identificadas, foram selecionadas 3 para visitas, sendo elas: Unidade de Valorização de Resíduos de Construção Civil Grajaú, Usina de Reciclagem de Resíduos da Construção Civil Proguaru e Centro de Gerenciamento de Resíduos Sólidos Geresol.

As usinas visitadas, localizadas nos municípios de São Paulo, Guarulhos e Jundiaí, no estado de São Paulo, beneficiam os resíduos da construção e demolição - Classe A. A escolha das mesmas se deu em função de sua importância para o setor e por possuírem características distintas entre si,o que possibilitou uma análise global do estado da arte

desse tipo de atividade.

Através de entrevistas, com pretensão de obter uma visão geral das usinas, por meio de um diálogo com os entrevistados, foram coletadas as seguintes informações:

- Dados gerais do empreendimento;
- Valor e fonte de investimentos;
- Características da matéria prima recebida e valor cobrado pelo recebimento;
- Procedimentos operacionais;
- Tipos e quantidades dos equipamentos utilizados;
- Características dos produtos e valor de venda dos mesmos;
- Destinação dos rejeitos.

Visando aprofundar o estudo sobre as usinas de beneficiamento de RCD, as informações sobre as despesas de operação e manutenção foram solicitadas, porém não foram disponibilizadas pelos empreendimentos.

Após a realização das visitas, os dados não informados foram obtidos através de contato telefônico, por meio de correspondências eletrônicas trocadas com funcionários aptos a fornecê-los e através de buscas em páginas da Internet e, então, estabeleceu-se um comparativo entre as áreas, com destaque para as melhores práticas realizadas em cada uma delas.

3 I RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Unidade de Valorização de Resíduos de Construção Civil Grajaú

A Unidade de Valorização de Resíduos de Construção Civil Grajaú - URV Grajaú é uma usina de reciclagem de resíduos da construção e demolição - Classe A pertencente ao Grupo Odebrecht Ambiental, está localizada no município de São Paulo, Bairro Jardim Santa Tereza e possui Licença de Operação nº 33006374, emitida em 26 de maio de 2016 pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB.

De acordo com a Licença Ambiental, a usina opera em uma área de 5.335,35 m², porém, de acordo com o constatado na visita, acredita-se que essa área corresponda a todo o terreno do empreendimento, não somente ao local de operação das atividades relacionadas ao beneficiamento de Resíduos Classe A.

Para a operação de todas as atividades do empreendimento é necessária uma equipe de 13 funcionários, sendo 10 para produção e 3 para administração.

Inaugurada no ano de 2014, a usina teve um investimento de R$30.000.000,00, financiado pelo Programa Finep-Inova Sustentabilidade.

Com o objetivo de desenvolver um negócio lucrativo, através de uma solução ambiental para os resíduos gerados, a usina recebe, em média, 72.000 toneladas por

mês de resíduos Classe A - Entulho para agregado e Classe B - Madeira, provenientes de construções, reformas e demolições, já segregados, com, no máximo, 10% de contaminação por outros materiais. Os resíduos Classe A são beneficiados no empreendimento e vendidos, enquanto que os resíduos Classe B são transbordados e destinados para usinas de reciclagem energética da região.

O valor cobrado pelo recebimento dos resíduos é apresentado no Quadro 2 e varia de acordo com o tipo do material e com o contrato firmado entre as partes. A contratação da usina é feita pelo transportador que, por sua vez, é contratado pelo gerador.

Resíduo	Valor de recebimento (R$/m³)
Solo	10,00 - 18,00
Entulho	8,00- 18,00
Madeira	37,00

Tabela 1 - Valor de recebimento dos resíduos - URV Construção Civil Grajaú.

Existe uma parceria firmada entre os transportadores, a URV Grajaú e a Prefeitura de São Paulo, que subsidia 60% do valor cobrado pelo recebimento dos resíduos, com o intuito de reduzir a quantidade de pontos de disposição irregular do município.

Cada carga de resíduos recebida, após ser descarregada no pátio de operações, é verificada visualmente, de forma a ratificar a segregação dos resíduos recebidos. No caso de contaminação acima dos 10% acordados, o empreendimento recusa o recebimento do material, ficando a cargo do transportador outra destinação.

Os resíduos Classe A passam por uma inspeção visual, na qual são separados em Cinza, somente resíduos provenientes de concreto puro, e Misto, resíduos provenientes da mistura de concreto e de materiais cerâmicos. Essa divisão ocorre devido à diferença das propriedades desses materiais, visto que o agregado reciclado proveniente de carga Cinza possui qualidade superior ao agregado Misto. Estes materiais são beneficiados separadamente, de acordo com a demanda do mercado.

O fluxo dos resíduos recebidos segue os seguintes passos:

- No início do processo, ocorre uma inspeção, que separa os resíduos no pátio, em pilhas de resíduos Cinza e Misto;
- Em seguida, é feita uma triagem primária manual, em esteira, da qual os catadores retiram os resíduos volumosos;
- Caminhões basculantes transportam os resíduos da esteira de triagem até a tremonha;
- Saindo da tremonha, o material é encaminhado para a peneira vibratória, para a primeira classificação, onde as partículas com dimensões entre 0 e 10mm são transportadas por uma esteira e dispostas por uma pilha denominada “na-

tural". Ao longo dessa esteira, há a primeira separação de metais, através de um eletroímã;

- O material com dimensões acima de 10 mm é encaminhado, através da esteira, para a fragmentadora, onde é triturado, com o objetivo de reduzir e uniformizar as dimensões das partículas em torno de 100 mm, encaminhando-o posteriormente para o silo. Nessa fase, é utilizado um segundo eletroímã;
- O material estocado no silo é encaminhado para uma peneira giratória denominada trommel, que classifica as partículas menores que 40 mm;
- Todo o material com dimensão superior a40mmé encaminhado, por esteira, ao britador secundário, onde há um terceiro eletroímã, e triturado até atingir tamanho inferior a 40 mm;
- Após atravessar o trommel, o material é conduzido, por esteira, para a segunda peneira vibratória, que classifica os agregados reciclados em três lotes, com granulometrias compreendidas entre 0-10 mm, 10-20mm e 20-40mm;
- Os materiais leves e finos são removidos por duplos ciclones, com fluxo de ar sobre o material britado. O último eletroímã atua na esteira principal.

Os equipamentos usados no processo operacional descrito estão listados a seguir.

- 1 tremonha
- 2 peneiras
- 1 trommel
- 1 fragmentadora
- 1 britador secundário
- 1 silo
- 2 ciclones
- 4 separadores magnéticos
- 4 esteiras transportadoras
- 1 pá carregadeira
- 2 máquinas de artefato de concreto

Após serem beneficiados, os resíduos são transformado sem agregado reciclado de diversas granulometrias, com produção total de 55.200 t/mês, que é utilizado na fabricação de artefatos e comercializado em lojas de materiais de construção e construtoras.

O valor de comercialização do produto varia de acordo com o mercado, sendo que o agregado reciclado Cinza é vendido por um valor 50% menor que o do material Natural, e o agregado reciclado Misto é vendido por um valor 25% menor que o do material Natural.

A lista dos produtos gerados no empreendimento é apresentada no Quadro 2, a seguir.

Produto	Granulometria (mm)
Areia	0-5
Pedrisco	5-10
Bica fina	0-10
Bica grossa	0-40
Pedra 1	10-20
Pedra 2	20-40
Pedra 3	20-60
Agregado reciclado fino rico em solo	0-10
Rachão misto	-
Artefatos de agregados reciclados	-

Tabela 2-Lista de produtos - URV Construção Civil Grajaú.

Os resíduos provenientes da triagem pré-beneficiamento possuem destinações diversas, sendo que os Recicláveis Convencionais - Classe B são destinados para cooperativas de materiais recicláveis, enquanto que a Madeira, também Classe B, é destinada para indústrias de reciclagem energética e os Classe C -Rejeitos são enviados para aterro.

A Figura 1, a seguir, permite uma visualização geral da usina de beneficiamento de resíduos URV Grajaú.

Figura 1 - Visão geral - URV Construção Civil Grajaú.

3.2 Usina de Reciclagem de Resíduos da Construção Civil Proguaru

A Usina de Reciclagem de Resíduos da Construção Civil Proguaru pertence à Prefeitura de Guarulhos e está localizada no Bairro Vila Progresso. O empreendimento, inaugurado em 2003, possui Licença de Operação nº15007297, emitida em 10 de novembro de 2014pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB.

De acordo com a Licença Ambiental, a Usina opera em uma área de 560 m² e são empregados 16 funcionários, sendo 14 para produção e 2 para administração.

Informações a respeito do valor de investimento não foram disponibilizadas para o presente trabalho.

A usina foi criada com o objetivo de solucionar o alto número de disposições clandestinas no município e, atualmente, recebe, em média, 4.800 t/mês de resíduos Classe A, provenientes das diversas atividades de construção civil com, no máximo, 10% de contaminação por outros materiais.

Os resíduos recebidos na usina são, principalmente, provenientes dos Pontos de Entrega Voluntária - PEV públicos, porém, o empreendimento recebe também resíduos provenientes de empresas transportadoras particulares que, por sua vez, são contratadas pelos geradores.

Os PEV recebem os resíduos dos pequenos geradores, até 1 m³/(pessoa.dia), sem cobrança, e posteriormente encaminham esse material para a usina. Já os transportadores particulares destinam os resíduos diretamente à Proguaru, mediante pagamento de R$ 6,00/t.

Assim como na URV Grajaú, os resíduos recebidos na Usina Proguaru passam por uma inspeção visual e são divididos em Cinza e Misto. Estes materiais são beneficiados separadamente, de acordo com o estoque no pátio de armazenamento, garantindo materiais de diversas qualidades e que atendem a demandas diferentes.

Ainda de forma similar à URV Grajaú, a segregação dos resíduos destinados à Proguaru é verificada no pátio de operações. Para os resíduos provenientes dos PEV, quando há contaminação superior a 10% por outros materiais, a carga retorna para a origem, onde os materiais são segregados pelo funcionário do local. Para os resíduos provenientes de transportadores particulares, quando isso ocorre, a usina também não recebe o material, ficando a cargo do transportador outra destinação.

Existe uma parceria firmada entre as Secretarias Municipais envolvidas no processo de coleta/beneficiamento dos resíduos e uso dos produtos, que inclui educação ambiental para os munícipes, incentivando-os a destinarem os resíduos corretamente, capacitação dos funcionários dos PEVs, viabilizando a segregação dos resíduos, e capacitação dos funcionários da Secretaria de Obras, com incentivo do uso do material beneficiado.

O fluxo dos resíduos recebidos é apresentado a seguir.

- No início do processo, ocorre uma inspeção, que divide os resíduos, no pátio,

em pilhas de Cinza e Misto;

- Após serem despejados no pátio de operações, os resíduos volumosos e aqueles que não forem Classe A são triados manualmente e armazenados em baias separadas, de acordo com sua tipologia;
- Uma pá carregadeira alimenta o britador com o resíduo previamente triado;
- O britador é seguido pelas peneiras e o material, separado por granulometria, é transportado por correias transportadoras até seu local de armazenamento final;
- Em uma das correias transportadoras ocorre mais uma triagem manual;
- Separadores magnéticos são dispostos ao longo do processo, para separação dos metais ferrosos.

Os equipamentos usados no processo operacional descrito estão listados a seguir.

- 1 tremonha
- 2 peneiras
- 1 britador
- 1 separador magnético
- 5 esteiras transportadoras
- 1 pá carregadeira

Após serem beneficiados, os resíduos são transformado sem agregado reciclado de diversas granulometrias, com produção média de 2.431 t/mês, que é usado, em sua totalidade, pela própria Prefeitura.

A lista dos produtos gerados no empreendimento é apresentada no Quadro 3, a seguir.

Produto	Granulometria (mm)
Areia	0-5
Pedrisco	5-10
Pedra 1	10-20
Pedra 2	20-40
Graúdo	40-60
BCR	60-100

Tabela 3 - Lista de produtos - Usina Proguaru.

Os resíduos Classe B - Recicláveis Convencionais, provenientes da triagem pré-beneficiamento, são destinados para cooperativas de materiais recicláveis, enquanto que a Madeira, também Classe B, é destinada para indústrias de reciclagem energética e os

resíduos Classe C – Rejeitos são enviados para aterro.

A Figura 2, a seguir, permite uma visualização geral do beneficiamento de resíduos da Usina Proguaru.

Figura 2 - Visão geral - Usina de Reciclagem de Resíduos da Construção Civil Proguaru.

3.3 Centro de Gerenciamento de Resíduos Sólidos Geresol

Para destinação dos Resíduos da Construção e Demolição, o município de Jundiaí conta com o Centro de Gerenciamento de Resíduos Sólidos Geresol. Gerido através de parceria público-privada, o empreendimento está localizado no Jardim Industrial do próprio município, foi inaugurado em 2002 e possui Licença de Operação nº 36006631, emitida em 13 de maio de 2013 pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB.

De acordo com a Licença Ambiental, o Centro opera em uma área de 255,25 m² e, para o funcionamento do mesmo, são necessários 14 funcionários, sendo 11 para produção e 3 para administração.

Informações a respeito do valor de investimento não foram disponibilizadas para o presente trabalho.

O objetivo principal do Geresol, no momento de sua criação, foi solucionar disposições clandestinas de RDC no município e seus inúmeros impactos ambientais e financeiros.

O Centro recebe, em média, 15.000 t/mês de RCD, provenientes de todas as atividades de construção do município, visto que não existem outros locais regularizados para realizar essa atividade. O empreendimento recebe, principalmente, resíduos provenientes de transportadores particulares e também dos Ecopontos, que são equipamentos públicos

responsáveis pelos resíduos dos pequenos geradores, até 1 m³/(pessoa.dia).

O valor de R$11,00/t, cobrado pelo recebimento dos resíduos, é pago diretamente pelo gerador à Prefeitura, no momento da contratação do transportador, e este fica responsável por garantir a destinação final correta.

Uma característica peculiar do Geresol é que o empreendimento recebe os resíduos da construção e demolição do município, estando estes segregados ou não.

Assim como os outros empreendimentos visitados, os resíduos recebidos no Geresol passam por uma inspeção visual e são divididos em Cinza e Misto. De forma similar à Usina Proguaru, estes materiais são beneficiados separadamente, de acordo com o estoque no pátio de armazenamento, garantindo materiais de diversas qualidades e que atendem a demandas diferentes.

O fluxo dos resíduos recebidos é apresentado a seguir.

- No início do processo, ocorre uma inspeção, que divide os resíduos, no pátio, em pilhas de Cinza e Misto;
- Após serem despejados no pátio de operações, os resíduos volumosos, como eletrodomésticos da linha branca, móveis e resíduos provenientes de poda, são triados com auxílio de pás carregadeiras e armazenados em locais separados, de acordo com sua tipologia;
- Uma pá carregadeira alimenta uma esteira transportadora, na qual o material passa por catadores que retiram, de forma superficial, os resíduos Classe B e C.
- Os resíduos Classe A, após a triagem manual, são dispostos em uma pilha temporária, para o posterior transporte, através de caminhões basculantes, até a área de beneficiamento;
- O britador, que é alimentado através de uma pá carregadeira, é seguido pelas peneiras, de onde o material, separado por granulometria, é transportado por correias transportadoras até seu local de armazenamento final;
- Separadores magnéticos são dispostos ao longo do processo, para separação dos metais ferrosos.

A lista dos equipamentos usados no processo operacional deste empreendimento não foi disponibilizada para essa pesquisa.

Após beneficiados, os resíduos Classe A são transformados em agregado reciclado de diversas granulometrias, com produção de aproximadamente 5.550 t/mês. Todo a produção é utilizada nas obras de infraestrutura da Prefeitura de Jundiaí .

A lista dos produtos gerados no empreendimento é apresentada na Tabela 4, a seguir.

Produto	Granulometria (mm)
Areia	0-5
Pedrisco	5-10
Bica Corrida	0-10
Brita 1	10-20
Brita 2	20-40
Brita 3	20-60
Rachão misto	-

Tabela 4 - Lista de produtos - Geresol.

A área onde são desenvolvidas as atividades do Centro Geresol é de propriedade da Prefeitura de Jundiaí, com locação através de concessão, e nela também estão instaladas outras unidades com diversas atividades relacionadas aos resíduos, como aterramento, compostagem e triagem de recicláveis. Os resíduos Classe B e C provenientes das atividades de construção e demolição, quando segregados na fonte geradora, são destinados para essas outras unidades, bem como os resíduos provenientes da triagem pré-beneficiamento do Centro.

A Figura 3, a seguir, permite uma visualização geral do centro de beneficiamento de resíduos Geresol.

Figura 3 - Visão geral - Centro de Gerenciamento de Resíduos Sólidos - Geresol.

3.4 Comparativo entre os empreendimentos visitados

Como pôde ser observado, as usinas visitadas possuem algumas diferenças,

relacionadas às estratégias de negócios e às formas de gerenciamento.

Todos os três empreendimentos beneficiam resíduos Classe A e somente a URV Construção Civil Grajaú recebe, também, resíduos de madeira – Classe B, porém, esse material é transbordado e destinado para usinas de reciclagem energética.

Em relação à propriedade, a URV Construção Civil Grajaú é um empreendimento particular, enquanto que a Usina Proguaru é pública e a Geresol é público-privada.

Mesmo as usinas sendo geridas por iniciativas distintas, todas possuem apoio das Prefeituras dos municípios onde estão instaladas, as quais viabilizam seu funcionamento.

O poder público dos municípios de Guarulhos e Jundiaí garante o uso total dos materiais produzidos, dos empreendimentos Proguaru e Geresol respectivamente, os quais são utilizados, predominantemente, como base e sub-base em obras de pavimentação. Já em São Paulo a Prefeitura subsidia 60% do valor cobrado pelo recebimento dos resíduos, pela URV Grajaú, estimulando o destino dos materiais para este local.

Enquanto os produtos dos empreendimentos Proguaru e Geresol são utilizados pelas prefeituras, os produtos do empreendimento URV Grajaú são comercializados.

Os resíduos provenientes da triagem pré-beneficiamento possuem diversos destinos. Em sua maioria, os Recicláveis Convencionais – Classe B são destinados para as cooperativas de catadores de cada município, e a Madeira, também Classe B, é destinada para usinas de reciclagem energética, exceto a Geresol, que encaminha esse material para compostagem. Os resíduos Classe C - Rejeitos são destinados para aterro por todos os empreendimentos.

O Quadro 2, a seguir, apresenta a síntese da comparação apresentada.

Discriminação		**URV Grajaú**	**Usina Proguaru**	**Centro Geresol**
Resíduos recebidos		Classe A - Limpos	Classe A - Limpos	Classe A - Misturados
		Classe B - Madeira		
Propriedade		Particular	Pública	Público-Privada
Parceria com poder público		Subsídio de 60% do valor cobrado para recebimento	Uso do produto	Uso do produto
Destino dos produtos		Venda	Uso pela prefeitura	Uso pela prefeitura
Destino dos resíduos	Classe B - Convencionais	Cooperativa de catadores	Cooperativa de catadores	Cooperativa de catadores
	Classe B - Madeira	Reciclagem energética	Reciclagem energética	Compostagem
	Classe C - Rejeito	Aterro	Aterro	Aterro

Quadro 2 -Síntese da comparação dos empreendimentos.

Cabe ressaltar que a diferença no processo produtivo da URV Grajaú é o principal fator que permite a comercialização dos seus produtos. Este empreendimento, além de

receber somente resíduos já segregados, o que resulta em um produto de melhor qualidade, possui em seu processo produtivo duplos ciclones, que possibilitam a produção de um material livre de partículas de baixa granulometria (pó), com aspecto visual adequado para comercialização. Além disso, o mesmo recebe quantidade muito maior de materiais, se comparado com os outros empreendimentos, o que garante estoque para melhor negociação com os clientes, possibilitando-lhes garantia de fornecimento.

O processo produtivo do empreendimento Geresol merece destaque, pelo fato do mesmo ser o único, dentre os estudados, a receber RCD Classe A sem segregação. Essa particularidade do empreendimento garante o recebimento dos resíduos gerados em todas as obras do município, porém, acarreta em menores possibilidades de uso para o produto– somente obras de pavimentação viária - devido às suas características, o que, neste caso, pode ser irrelevante, visto que,ainda assim, a Prefeitura consome toda a produção da usina.

O fato de o Geresol receber resíduos não segregados pode ser prejudicial para o gerenciamento dos resíduos na fonte geradora, principalmente nas obras de grande porte, pois desmotiva a segregação, dificultando o conhecimento das características dos resíduos gerados pelos geradores e, assim, diminuindo as possibilidades de minimização da geração.

Outra característica peculiar da usina Geresol é a contratação e o pagamento pelo serviço de recebimento/tratamento dos resíduos, diretamente realizados pelo Gerador, e não pelo Transportador, como acontece normalmente. Essa forma de contrato é considerada inovadora no Brasil, visto que ainda não acontece em outros municípios e possibilita maior eficácia do controle do fluxo dos resíduos, reduzindo as chances de serem dispostos irregularmente pelas vias e logradouros de Jundiaí.

A comparação dos dados quantitativos dos empreendimentos é apresentada na Tabela 5, a seguir.

Discriminação		**URV Grajaú**		**Usina Proguaru**	**Centro Geresol**
Cidade		São Paulo		Guarulhos	Jundiaí
Ano de inauguração		2014		2003	2002
Área (m²)		-		560,00	255,25
Número de funcionários	Administrativo	3		2	3
	Operacional	10		14	11
	Total	13		16	14
Quantidade de resíduos recebidos (t/mês)		72.000		4.800	15.000
Valor de recebimento dos resíduos(R$/t)		Solo	10,00 - 18,00	6,00	11,00
		Entulho	8,00 - 18,00		
		Madeira	37,00		

Equipamentos			1 tremonha 2 peneiras	1 tremonha 2 peneiras	Não informado
			1trommel	1 britador	
			1 fragmentadora	1eletroimã	
			1 britador secundário	5 esteiras	
			1 silo	1 pá carregadeira	
			2 ciclones		
			4eletroimãs		
			4 esteiras		
			1 pá carregadeira		
			2 máquinas de artefato		
Produção (t/mês)			55.200	2.431	5.550
Produtos	Areia	0-5	x	x	x
	Pedrisco	5-10	x	x	x
	Bica fina	0-10	x		x
	Agregado rico em solo	0-10	x		
	Bica grossa	0-40	x		
	Pedra 1	10-20	x	x	x
	Pedra 2	20-40	x	x	x
	Pedra 3	20-60	x		x
	Rachão misto	-	x		x
	Graúdo	40-60		x	
	BCR	60-100		x	
	Artefatos de agregado		x		

Tabela 5 -Comparação dos dados quantitativos dos empreendimentos.

Comparando a quantidade de resíduos recebidos pelos empreendimentos com a quantidade de produtos finais, pode ser obtido o índice de eficiência dos processos. Verifica-se que a Usina URV Grajaú possui um aproveitamento de aproximadamente 76% dos resíduos recebidos, enquanto que a Usina Proguaru aproveita 50% e o Centro Geresol somente 36%.

A diferença na eficiência das atividades de beneficiamento dos empreendimentos está relacionada com o processo operacional dos mesmos e com a qualidade dos resíduos recebidos. Nota-se que a URV Construção Civil Grajaú é a usina que temo processo mais complexo, enquanto que o Centro Geresol é o único empreendimento a receber resíduos não segregados.

4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

As informações apresentadas neste trabalho mostram que diferentes estratégias de negócios e formas de gerenciamento são utilizadas nas usinas e que, dessa forma, os empreendimentos possuem características diferentes que atendem a demandas específicas de cada município onde estão instaladas.

Salienta-se a importância do papel do Poder Público, representado nesse caso pelas prefeituras, como agente incentivador de novas práticas sustentáveis, como o uso dos produtos reciclados e o incentivo da destinação dos resíduos para locais adequados, viabilizando o funcionamento das usinas e impulsionando a difusão de um novo mercado ambientalmente adequado.

Por fim, conclui-se que os resultados desta pesquisa podem ser utilizados como ferramenta gerencial no planejamento dos investidores do setor e na definição de políticas públicas de incentivo à reciclagem.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 307, de 05 de julho de 2002**. Dispõe sobre a gestão dos resíduos da construção civil e dá outras providências. Brasília; 2002.

CALADO, Silvia dos Santos; FERREIRA, Silvia Cristina dos Reis.**Análise de Documentos: Método de Recolha e Análise de Dados. Metodologia de Investigação**I. DEFCUL. 2004-2005.

CERVO, Amado; BERVIAN, Pedro; SILVA, Roberto. **Metodologia Científica.**6. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007.

CUNHA, Nelma Almeida. **Resíduos da Construção Civil -Análise de Usinas de Reciclagem.** 187 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil Arquitetura e Urbanismo.Campinas. 2007

FONSECA, Yuri Resende. **Avaliação de Usinas de Reciclagem de Resíduos da Construção Civil pelo Método de Opções Reais Combinadas**. 79 f. Monografia (Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Juiz de Fora. Faculdade de Engenharia. Departamento de Engenharia e Produção Mecânica. Juiz de Fora. 2014

MIRANDA, Leonardo Fagundes; ANGULO, Sérgio Cirelli; CARELI, Élcio Duduchi. **A Reciclagem de Resíduos da Construção e Demolição no Brasil: 1986 -2008.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 9, n 1, Janeiro/Março 2009.

PIMENTA, Cristiane Ferreira *et al.* **Quantificação e Composição dos Resíduos da Construção Civil em Edificações de Grande Porte**.Ares Ambiente & Resíduos,São Paulo, v. 1, n. 7, p.52-60, Trimestral.30 nov. 2016.

SILVA, Mayara Cristina Ghedini *et al.* **Metodologia para Identificação de Potenciais Locais para a Implantação de Usina de Reciclagem de Resíduos da Construção Civil.** Revista Spacios, v. 34, n 4, 2013.

CAPÍTULO 3

QUANTIFICAÇÃO E COMPOSIÇÃO DOS RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL EM ÁREAS DE TRANSBORDO E TRIAGEM

Data de aceite: 01/04/2022

Cristiane Ferreira Pimenta

Henrique F. Ribeiro

RESUMO: Sendo a construção civil uma atividade que gera grandes quantidades de resíduos, o incremento do setor é alarmante para toda a sociedade, portanto, é de suma importância que se estabeleça, nos municípios, uma rede estruturada de áreas receptoras de Resíduos da Construção e Demolição (RCD), das quais destacam-se as Áreas de Transbordo e Triagem (ATT). Diante da importância das ATT como agente receptor dos RCD, a caracterização dos materiais recebidos, triados e/ou transbordados nesses empreendimentos se mostra essencial, para o auxílio nas decisões administrativas dos próprios empreendimentos, dos investidores do setor e, ainda, para a definição de políticas públicas de incentivo à melhoria da destinação e reciclagem dos resíduos. Dessa forma, este trabalho estudou duas Áreas de Transbordo e Triagem, situadas nos municípios de Betim e Contagem, Minas Gerais, com coleta de dados sobre o recebimento, manejo e destino final dos RCD. Foi possível verificar que a maior parte dos resíduos recebidos nesses empreendimentos são recicláveis, com destaque para os Classe A – Solo/ Entulho para agregado, evidenciando o grande potencial de desenvolvimento dessa atividade, que os resíduos caracterizados como Classe B – Recicláveis possuem diversas tipologias, com métodos diferentes de manejo e que as diferenças nas quantidades e nas proporções de resíduos recebidos nos empreendimentos estão diretamente relacionadas com a estratégia de atuação dos mesmos no mercado.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduos da construção e demolição, correta destinação, área de transbordo e triagem, gerenciamento de resíduos da construção.

QUANTIFICATION AND COMPOSITION OF CONSTRUCTION WASTE IN TRANSSHIPMENT AND SORTING AREAS

ABSTRACT: Since civil construction is an activity that generates large amounts of waste, the growth in the sector is alarming for the whole society, therefore, it is of the utmost importance to establish, in the municipalities, a structured network of receiving areas for Construction and Demolition Waste (CDW), of which the Transshipment and Sorting Areas (TSA) stand out. Due to the importance of TSA as a receiver agent of the CDW, the characterization of the materials received, sorted and / or transshipped in these projects is essential to help in administrative decisions of the enterprises, the investors in the sector and also for the definition of public policies to encourage the improvement of waste disposal and recycling. Thus, this study analyzed two Transshipment and Sorting Areas, located in the municipalities of Betim and Contagem, Minas Gerais, with data collection on the reception, management and final destination of the CDW. It was possible to verify that most of the waste received in these projects is recyclable, highlighting the Class A - Soil / Rubble for aggregate, evidencing the great potential of this

activitydevelopment, that the residues characterized as Class B - Recyclables have different typologies with different methods of management and that the differences in the quantities and proportions of waste received in the projects are directly related to the strategy of their performance in the market.
KEYWORDS: Construction and demolition waste, correct destination, transshipment and sorting area, management of construction waste.

1 I INTRODUÇÃO

A necessidade de execução de obras de construção civil em grandes centros urbanos aumenta constantemente, o que não se difere em Belo Horizonte, mesmo que o município não tenha apresentado crescimento populacional significativo nos últimos anos, conforme dados do IBGE (2016). Sendo a construção civil uma atividade que gera grande quantidade de resíduos, o incremento do setor é alarmante para toda a sociedade.

O panorama geral, na maioria dos municípios brasileiros, é de ineficiência no manejo dos Resíduos da Construção e Demolição (RCD), tanto em se tratando de ações privadas, quanto públicas. A realidade é que as administrações municipais não possuem recursos especializados capazes de planejar, gerenciar e fiscalizar a grande quantidade de resíduos gerada. Além disso, as medidas adotadas na condução dos impactos acarretados por estes resíduos têm caráter emergencial e corretivo.

No Brasil as normas que regem os RCD pactuam sobre a responsabilidade dos geradores - públicos e privados - com a correta destinação dos resíduos, porém, em grande parte dos municípios brasileiros, estes encontram dificuldades em identificar locais adequados e que estejam devidamente regularizados para receber os materiais.

Neste aspecto, Fukurozaki (2004) destaca que o complexo gerenciamento dos RCD e o alto custo com transporte e destinação final dos materiais estão entre os principais desafios resultantes do alto índice de geração de resíduos nas atividades de construção civil.

Diante do exposto, é de suma importância que se estabeleça, nos municípios, uma rede estruturada de áreas receptoras de resíduos da construção e demolição, das quais destacam-se as Áreas de Transbordo e Triagem (ATT), especialmente importantes nos grandes centros, os quais, comumente sofrem com problemas relacionados à tráfego e às restrições de uso e ocupação do solo.

As ATT têm se mostrado opção interessante para a destinação dos RCD, o que, segundo Fukurozaki (2004), ocorre devido ao fato desses locais facilitarem o descarte dos materiais, com redução dos percursos realizados pelos transportadores e garantia do aumento dos índices de reutilização e reciclagem dos materiais, diminuindo o contínuo aterramento de componentes plenamente reaproveitáveis e o esgotamento das áreas de sustentação ao desenvolvimento urbano.

Diante da importância das ATT como agente receptor dos resíduos da construção

e demolição, a caracterização dos materiais recebidos, triados e/ou transbordados nesses empreendimentos se mostra essencial para o auxílio nas decisões administrativas dos próprios empreendimentos, dos investidores do setor e, ainda, para a definição de políticas públicas de incentivo à melhoria da destinação e reciclagem dos resíduos. Porém, esses dados são escassos, existindo, na maioria das vezes, de forma descentralizada dentro dos empreendimentos.

Desta forma, o objetivo deste trabalho foi estudar duas Áreas de Transbordo e Triagem, situadas na região metropolitana de Belo Horizonte, com coleta de dados quali-quantitativos sobre o recebimento, manejo e destino final dos RCD, visando contribuir no planejamento de novos empreendimentos e auxiliar a melhoria dos já existentes. Julga-se que a compilação dos dados coletados permitirá planejamentos mais assertivos, bem como contribuirá para a melhoria da organização dos setores das ATT.

2 | METODOLOGIA

A metodologia utilizada para o desenvolvimento deste trabalho foi o estudo de caso de duas Áreas de Transbordo e Triagem situadas na região metropolitana de Belo Horizonte, onde foram coletados os dados quali-quantitativos dos resíduos triados, transbordados e destinados no ano de 2016.

Os empreendimentos estudados, Alternativa Transportes e Entulhos Ebenezer, estão localizados nos municípios de Betim e Contagem, Minas Gerais, respectivamente, e foram escolhidos por serem conceituados pelas empresas geradoras de RCD em toda a região, por estarem regularizados para exercerem suas atividades e por terem interesse em colaborar com a pesquisa.

Para o desenvolvimento do estudo, primeiramente, foram realizadas visitas técnicas para caracterização dos empreendimentos, entendimento das atividades realizadas e levantamento dos dados a serem analisados, relativos aos resíduos, os quais são listados a seguir:

- Métodos de manejo;
- Formas de destinação;
- Caracterização gravimétrica.

Para o desenvolvimento do trabalho foram utilizadas as classificações e definições estabelecidas na Resolução CONAMA nº 307/2002 e na norma ABNT NBR nº 15.112/2004.

A Resolução CONAMA nº 307/2002 e suas alterações estabelecem diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção e demolição, sendo a normativa principal utilizada pelos agentes do manejo dos RCD, no que se refere à todas as etapas do fluxo desses materiais.

A referida Resolução classifica os resíduos da construção e demolição e estabelece

as destinações adequadas para cada classe de resíduo, conforme mostrado no Quadro 1.

Classe	Descrição	Destinação
Classe A	Resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, inclusive solos provenientes de terraplanagem, componentes cerâmicos, argamassa e concreto.	Deverão ser reutilizados ou reciclados na forma de agregados, ou encaminhados a áreas de aterro de resíduos da construção civil, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura.
Classe B	Resíduos recicláveis para outras destinações, tais como plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras, embalagens vazias de tintas imobiliárias e gesso.	Deverão ser reutilizados, reciclados ou encaminhados a áreas de armazenamento temporário, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura.
Classe C	Resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis, que permitam a sua reciclagem ou recuperação.	Deverão ser armazenados, transportados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas.
Classe D	Resíduos perigosos oriundos do processo de construção.	Deverão ser armazenados, transportados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas.

Quadro 1- Classificação e destinação dos RCD.

Fonte: Resolução CONAMA nº307/2002.

A norma ABNT NBR nº 15.112/2004 fixa os requisitos exigíveis para projeto, implantação e operação de Áreas de Transbordo e Triagem de Resíduos da Construção Civil e Resíduos Volumosos e define tais áreas da seguinte forma:

> "Área destinada ao recebimento de resíduos da construção civil e resíduos volumosos, para triagem, armazenamento temporário dos materiais segregados, eventual transformação e posterior remoção para destinação adequada, sem causar danos à saúde pública e ao meio ambiente."

3 I RESULTADOS E DISCUSSÃO

As ATT estudadas no presente trabalho, como citado, são: Entulhos Ebenezer, localizada no município de Contagem, com um total de 20.135,06 m³ de resíduos da construção e demolição manejados no ano de 2016; e, Alternativa Transportes, localizada no município de Betim, que recebeu e destinou 15.261,44 m³ de resíduos, no mesmo período.

Ambos os empreendimentos realizam as atividades de triagem e transbordo dos resíduos, além de transportá-los, da sua origem até seu destino final, e não recebem resíduos transportados por terceiros. As empresas desenvolvem as atividades de forma similar, estão devidamente regularizadas, conforme informações apresentadas no Quadro 2, não realizam transformação dos materiais e garantem correta destinação aos resíduos

manejados.

Razão Social	Alternativa Transportes	Entulhos Ebenezer
Órgão Licenciador	Prefeitura Municipal de Betim - Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável - CODEMA	Prefeitura Municipal de Contagem - Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Sustentabilidade
Licença	Licença Ambiental nº008/2014	Licença Ambiental Sumária nº 015/14
Validade	13/11/2018	07/04/2022
Atividade	Coleta de resíduos não perigosos/ armazenamento temporário e segregação de resíduos classe II – inertes e não inertes, com predominância de resíduos da construção civil	Coleta de resíduos não perigosos e área de triagem, transbordo e armazenamento temporário de resíduos da construção civil e volumosos

Quadro 2: Informações relativasàs licenças ambientais das empresas pesquisadas.

Os resíduos recebidos pelos empreendimentos têm diversas origens e tipologias, podendo ser de obras de geradores particulares, de pequeno e grande porte, e que utilizam métodos construtivos diversificados.

Ambos os empreendimentos cobram valores variáveis pelos serviços de coleta, transporte e destinação correta dos resíduos, de acordo com as condições de cada contrato.

O detalhamento dos procedimentos relacionados ao manejo dos resíduos nos empreendimentos é apresentado a seguir.

As caçambas coletadas com material considerado limpo, ou seja,com predominância de um único tipo de resíduo, e com, no máximo, 10% de contaminação por outros materiais, são descarregadas no pátio, em área pré-determinada, onde os resíduos são estocados, para posterior envio, em maior quantidade, para seu destino final. Essa atividade é chamada de transbordo, e ocorre, na maioria das vezes, para os resíduos Classe A – Solo/Entulho para agregado, devido às práticas comuns de segregação desses materiais nas fontes geradoras.

Quando há necessidade de triagem dos resíduos coletados, esta é realizada manualmente, de acordo com as classificações e características dos resíduos, com posterior armazenamento e destinação.

Um diferencial da empresa Alternativa Transportes é que a mesma possui prensa para os materiais que possuem alta densidade, como papel e plástico, o que otimiza o processo de destinação, uma vez que isto reduz o volume dos resíduos.

As Figuras 1 e 2, apresentadas a seguir, ilustram o armazenamento dos materiais pós-triagem, em ambos os empreendimentos:

Figura 1 - Armazenamento dos resíduos Alternativa Transportes.

Figura 2 - Armazenamento dos resíduos Entulhos Ebenezer.

Como já citado, a destinação dos resíduos triados e transbordados é realizada de forma adequada, conforme preconiza a legislação vigente, e planejada pelas empresas estudadas.

Na região onde estão localizadas as ATT, os resíduos Classe A – Solo/Entulho para agregado, em geral, não possuem valor de comercialização e são destinados para aterro com custo para o empreendimento.

Já os resíduos Classe B - Recicláveis, quando segregados, usualmente são comercializados com preços variáveis, de acordo com o mercado e com sua tipologia, enquanto que, para os resíduos Classe C – Rejeitos, há custo de destinação, que também varia de acordo com o mercado.

O Quadro 3, a seguir, apresenta as formas de destinação comumente praticadas nos empreendimentos.

Classe	Resíduo	Destinação
Classe A	Solo/Entulho para agregado	Aterro de inertes
Classe B	Recicláveis Convencionais (Papel, Plástico e Metal)	Depósito atacadista de materiais recicláveis
	Gesso[1]	Reciclagem
	Madeira	Reciclagem para fins energéticos
Classe C	Rejeitos	Aterro industrial
Classe D	Perigosos[2]	-

[1]Este resíduo é recebido somente pela empresa Alternativa Transportes.

[2]Não se aplica, uma vez que nenhuma das áreas recebe este tipo de material.

Quadro 3: Formas de destinação preferencial pelas ATT.

A Tabela 1, a seguir,apresenta a caracterização gravimétrica dos resíduos triados nas ATT em estudo, separados de acordo com a classificação estabelecida pela Resolução

CONAMA nº 307/2002.

Classe	Resíduo	Alternativa Transportes		Entulhos Ebenezer	
		(m³/ano)	(%)	(m³/ano)	(%)
Classe A	Solo/Entulho para agregado	5.400,00	35,38	11.440,00	56,82
Classe B	Papel	450,00	2,95	926,50	4,60
	Plástico	432,00	2,83	251,40	1,25
	Metal	267,44	1,75	302,93	1,50
	Gesso	3.960,00	25,95	-	-
	Madeira	3.720,00	24,38	1.660,00	8,24
Classe C	Rejeito	1.032,00	6,76	5.554,23	27,58
	Total	**15.261,44**	**100%**	**20.135,06**	**100%**

Tabela 1 - Caracterização gravimétrica dos resíduos, por tipo.

Para melhor visualização, os quantitativos dos resíduos também são apresentados na Figura 3, a seguir.

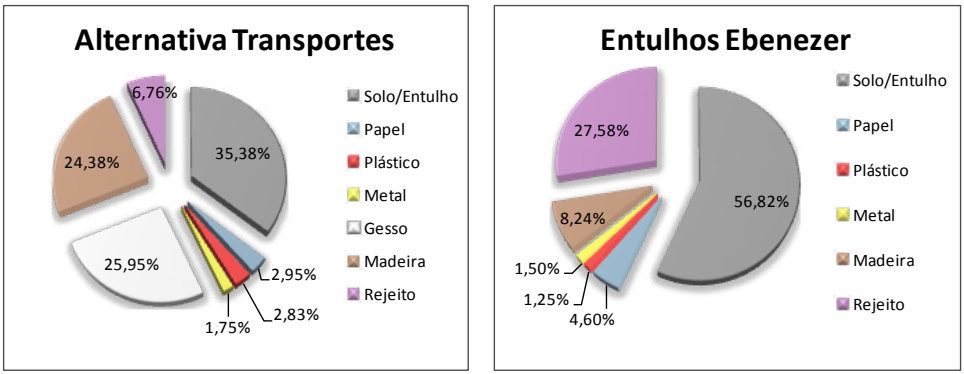

Figura 3 – Caracterização gravimétrica dos resíduos, por tipo.

A análise dos tipos de resíduos triados nos empreendimentos demonstra a predominância, em ambos os casos, dos resíduos Classe A – Solo/Entulho para agregado, representando 35,38%, na empresa Alternativa Transportes, e 56,82%, na empresa Entulhos Ebenezer. Outra semelhança significativa entre os resíduos triados nas empresas é constatada quando se avalia os resíduos Papel, Plástico e Metal (Classe B - Recicláveis convencionais), os quais totalizam 7,53%, na empresa Alternativa Transportes, e 7,35%, na empresa Entulhos Ebenezer.

Deve-se destacar, ainda, a diferença entre as quantidades totais de resíduos

recebidos e a diferença entre a proporção dos resíduos de Gesso, Madeira e Rejeito, as quais materializam a diferença da estratégia de atuação das empresas.

Em se tratando da Madeira, a empresa Alternativa Transportes oferece, aos grandes geradores, a opção de transporte dos materiais em caminhões do tipo rollon/off, com caçamba de capacidade de 35 m^3, otimizando o transporte e reduzindo o custo, o que resulta em grande quantidade desses resíduos recebida nesta área.

Quanto ao Gesso, atualmente, em toda a região metropolitana de Belo Horizonte, a empresa Alternativa Transportes é a única ATT que recebe este resíduo, uma vez que a mesma possui parceria para tratamento e destinação, que garante a reciclagem do material.

Por sua vez, o Rejeito também é representativo neste aspecto. Pelo fato da empresa Alternativa Transportes receber Gesso e Madeira já segregados, a mesma apresenta proporção de Rejeitos a serem destinados inferior à empresa Entulhos Ebenezer.

Deve-se citar, ainda, que a caracterização gravimétrica apresentada na Figura 3 evidencia o potencial de reciclagem dos resíduos gerados na construção civil, uma vez que os resíduos Classes A e B, que possuem possibilidades de reciclagem, totalizam 93,24%,na empresa Alternativa Transportes, e 72,42%, na empresa Entulhos Ebenezer, em concordância com Pimenta (2016), que afirma queem torno de 96% dos resíduos gerados em grandes obrassão passíveis de reciclagem.

4 I CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através do presente estudo, foi verificado que grande parte dos resíduos recebidos e triados pelas ATT são caracterizados como Classe A – Solo/Entulho para agregado, o que evidencia a importância do desenvolvimento do setor de reciclagem desses materiais.

Pode-se verificar, também, que os resíduos caracterizados como Classe B – Recicláveis possuem diversas tipologias, com métodos diferentes de manejo. Com isso, percebe-se a necessidade da existência de setores específicos para cada um deles nos empreendimentos dessa natureza.

Nota-se, ainda, que as diferenças nas quantidades e nas proporções de resíduos recebidos nos empreendimentos estão diretamente relacionadas com a estratégia de atuação dos mesmos no mercado, sendo que, aquele que apresenta soluções mais abrangentes alcança resultados mais satisfatórios, o que resulta na melhoria da comercialização dos Resíduos Recicláveis e na redução dos custos com destinação dos Rejeitos.

REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **ABNT NBR 15.112 - Resíduos da construção civil e resíduos volumosos - Áreas de transbordo e triagem - Diretrizes para projeto, implantação e operação.** Rio de Janeiro, 30 de junho de 2004.

Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº307- Dispõe sobre a gestão dos resíduos da construção civil e dá outras providências**. Brasília, 05 de julho de 2002**.**

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. **IBGE Cidades Belo Horizonte.** Disponível em <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=310620&search=llinfogr%E1ficos:-informa%E7%F5es-completas>. Acessado em abril de 2017.

FUKUROZAKI, Sandra Harumi; SEO, EmíliaSatoshi Miyamaru. **Desafios para a destinação de resíduos da construção civil: a implantação das áreas de transbordo e triagem no município de São Paulo.** Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia em Resíduos e Desenvolvimento Sustentável & NISAM 2004. Florianópolis, 2004.

PIMENTA, Cristiane Ferreira *et al*. **Quantificação e composição dos resíduos da construção civil em edificações de grande porte**. Ares Ambiente & Resíduos, São Paulo, v. 1, n. 7, p.52-60, 30 nov. 2016. Trimestral.

CAPÍTULO 4

COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS ALIMENTARES DO RESTAURANTE UNIVERSITÁRIO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

Data de aceite: 01/04/2022
Data da submissão: 17/02/2022

Deysiane Antunes Barroso Damasceno
Centro Universitário Presidente Antônio Carlos – UNIPAC Barbacena
http://lattes.cnpq.br/3346750236308165

Marcos Oliveira Dantas
Porteirinha/MG

Mônica de Abreu Azevedo
Universidade Federal de Viçosa, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Departamento de Engenharia Civil
http://lattes.cnpq.br/2232721903261268

RESUMO: A compostagem é considerada um método de disposição final adequado para os resíduos orgânicos, pois visa reciclar a matéria e transformá-la em adubo orgânico. Considerando a significância deste processo, muitas pesquisas têm sido feitas a fim de melhorar a eficiência deste sistema, principalmente no que diz respeito à decomposição da fração dos resíduos orgânicos composta por restos de alimentos. Este trabalho avaliou o desempenho da compostagem dos resíduos orgânicos do restaurante universitário (RU) da Universidade Federal de Viçosa (UFV) através do controle de parâmetros como aeração, temperatura, umidade, pH, matéria orgânica volátil e relação Carbono/Nitrogênio (C/N). Análises microbiológicas também foram feitas a fim de determinar a remoção de agentes patógenos. Por fim, um teste de germinação, com sementes de alface, foi realizado com o propósito de avaliar o grau de maturação do composto. Os resultados apontaram alto teor de umidade inicial (80,64%) que culminou em retardo do início da fase termofílica da compostagem. O teor de sólidos voláteis foi reduzido em 38,5%, comprovando a eficiência do processo. A ausência de patógenos ocorreu a partir da fase termofílica. Segundo o teste de germinação, ao final de sete dias, 71,79% das sementes cultivadas com o substrato e 68,38% das sementes da amostra controle haviam germinado.

PALAVRAS-CHAVE: Compostagem. Compostagem de resíduos alimentares. Degradação de matéria orgânica. Resíduo sólido orgânico.

FOOD WASTE COMPOSTING OF STUDENT RESTAURANT AT VIÇOSA UNIVERSITY

ABSTRACT: Composting is considered a suitable final disposal method for organic waste as it aims to recycle organic matter and transform it into organic fertilizer. Due the significance of this process many researches has been carried out to improve the efficiency of this system especially with regard to the decomposition of food scraps. This study evaluated the performance of composting organic waste from the University Restaurant (RU) at the Federal University of Viçosa (UFV) through the control of parameters such as aeration, temperature, humidity, pH, volatile organic matter and Carbon/Nitrogen ratio (C/N). Microbiological analyzes were also

performed in order to determine the removal of pathogens. Finally, a germination test with lettuce seeds was carried out in order to assess the degree of maturation of the compost. The results showed a high initial moisture content (80.64%) that culminated in a delay in the beginning of the thermophilic phase of composting. The volatile solids content was reduced by 38.5% attesting to the efficiency of the composting process. The absence of pathogens occurred from the thermophilic phase. According to the germination test at the end of seven days 71.79% of the seeds grown with the substrate and 68.38% of the seeds in the control sample had germinated.
KEYWORDS: Composting. Food waste composting. Organic matter degradation. Solid organic waste.

1 I INTRODUÇÃO

Anualmente, cerca de 1,3 bilhões de toneladas de alimentos produzidos para o consumo humano em todo mundo se perde ou é desperdiçado (FAO, 2016). Só no Brasil são desperdiçadas 41 mil toneladas de alimentos por ano (AKATU, 2016). Segundo dados do Ministério do Meio Ambiente, publicados no ano de 2017, cerca de 50% dos resíduos sólidos urbanos (RSU) são compostos por matéria orgânica.

A disposição destes resíduos está geralmente associada à geração de impactos ambientais e a altos custos (YU e HUANG, 2009). Isto porque, em geral, os aterros sanitários, fonte altamente geradoras de gás metano, ainda representam o principal destino final dos resíduos orgânicos (MU *et al*. 2017). Por isso, técnicas de tratamento e gerenciamento dos resíduos sólidos que minimizam seus impactos ambientais vêm sendo cada vez mais abordadas (THYBERG e TONJES, 2017).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS, Lei 12.305/2010) visa estimular mudanças consideráveis na forma de gerenciar os resíduos sólidos no Brasil, para isso, a PNRS estipulou o envio obrigatório de resíduos para reciclagem e compostagem. Aterros sanitários passaram a constituir a forma legalmente adequada de disposição final somente para rejeitos – resíduos que depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos viáveis não possuem outra possibilidade a não ser a disposição final (Brasil, 2010). Apesar disso, a maior parte dos RSU segue sem destinação adequada.

A compostagem de resíduos orgânicos é uma técnica valiosa que consegue minimizar os impactos ambientais causados pela disposição inadequada de resíduos sólidos ao mesmo tempo em que promove a reciclagem da matéria orgânica, convertendo-a em um produto de valor econômico (LI *et al*., 2015; MU, *et al.,* 2017). A compostagem trata-se de um processo controlado de decomposição microbiana aeróbica que gera um composto orgânico estabilizado que pode ser usado para melhoramento de solo ou como fertilizante orgânico. (SHI *et al*., 1999; LI *et al*., 2013; GIUSQUIANI *et al*., 1989).

O processo da compostagem requer não apenas planejamento (seleção de matérias-primas e misturas), mas também um adequado monitoramento dos parâmetros de controle,

sendo os principais: temperatura, pH, umidade, concentração de oxigênio e porosidade. Durante a compostagem, o material aquece como resultado da atividade microbiana, por isso, é essencial manter a temperatura e umidade em níveis apropriados para que esse processo ocorra adequadamente e não comprometa a qualidade do produto final (LÓPEZ *et al*. 2014).

A qualidade da matéria-prima também é determinante no processo de compostagem. Os resíduos alimentares representam uma fração dos resíduos orgânicos com características físicas e químicas bem particulares. Em geral, estes resíduos possuem alto teor de matéria orgânica que são facilmente degradadas, como por exemplo, açúcares, sal, lipídeos e proteínas. Além disso, os resíduos alimentares no estado fresco possuem alto teor de umidade, baixa relação C/N e alta porosidade (LI *et al*., 2013; SAER *et al*., 2013).

2 I OBJETIVOS

O objetivo deste estudo é acompanhar e avaliar a decomposição de resíduos orgânicos, mais precisamente, de restos de comida do Restaurante Universitário (RU) da Universidade Federal de Viçosa (UFV), pelo processo de compostagem, através do monitoramento dos parâmetros: pH, temperatura, umidade, sólidos voláteis, aeração e análises microbiológicas bem como a qualidade do composto maturado gerado por meio de teste de germinação.

3 I MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Caracterização do local e dos resíduos

A compostagem e as análises laboratoriais foram realizadas no Laboratório de Engenharia Sanitária e Ambiental (LESA) do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Viçosa e os resíduos foram coletados no RU do campus Viçosa. O RU/UFV é considerado uma Unidade de Alimentação e Nutrição de grande porte, servindo diariamente em torno de 5.100 refeições contemplando café da manhã, almoço e jantar.

Em média, são produzidos 11,5 Kg de resíduos no café da manhã, 220,5 Kg no almoço e 156,5 Kg no jantar, estes valores incluem apenas sobras de bandejas, os restos de preparo de alimento não são contabilizados, mas compõem a fração de resíduos descartada.

3.2 Compostagem

A leira foi montada em forma cônica com 460,3Kg de resíduos de alimentos do RU coletados no dia 29 de março de 2017. A massa de resíduos correspondia às sobras do café da manhã (13,2 Kg) e almoço (294,9 Kg) desse dia e jantar (149,9 Kg) do dia anterior,

além das sobras do preparo destas refeições (2,3 Kg). Ressalta-se que a leira foi construída em área devidamente cimentada para evitar a contaminação do solo e a contaminação do substrato pelo solo e foi coberta por uma camada de material maturado para evitar a propagação de odores e atração de vetores, porém, nenhum material incorporante foi adicionado à mistura ou à sua base.

A leira era revirada manualmente a cada três dias, nos primeiros 30 dias, e semanalmente após o primeiro mês até atingir a fase de maturação. Quando o início da fase de maturação foi detectado, o reviramento foi cessado.

As temperaturas eram aferidas em três pontos distintos da leira: base, centro e topo, com profundidades horizontais suficientes para atingir a região central da leira.

As análises laboratoriais foram feitas quinzenalmente, sendo todas realizadas em triplicata. O material era coletado em pelo menos quatro pontos da leira, a fim de se obter uma amostra homogênea e representativa.

Para determinar o pH do material, foi preparada uma solução contendo 10 gramas da amostra e 250mL de água destilada.

Cerca de 30g da amostra úmida eram colocadas para secar em estufa a uma temperatura de 75ºC por 24 horas para que a umidade do material fosse determinada. Após isso, dois gramas desse material eram encaminhados para o forno Mufla a uma temperatura de 550ºC, durante 2 horas, para determinação do teor de sólidos fixos e voláteis da amostra.

Diferentes concentrações de substrato (10^{-1},10^{-2} e 10^{-4}) foram preparadas com 4g da amostra úmida e 100 mL de NaCl a fim de determinar a presença ou ausência de coliformes totais na amostra. Para isso, utilizou-se o material indicador, Colilert Idexx. A presença de coliformes era indicada pela coloração amarela escura da solução após oprocesso de incubação.

A relação C/N foi determinada para amostras coletadas no 21º e 75º dia de compostagem. O teor de nitrogênio total da amostra foi determinado pelo método Kjeldahl. O Carbono total foi obtido segundo o método da mufla, que consiste em dividir o valor encontrado para os sólidos voláteis (SV) por 1,8 (JIMÉNEZ e GARCÍA, 1992). As amostras utilizadas para análise de carbono total foram coletadas nos mesmos dias daquelas utilizadas para análise de nitrogênio.

Por fim, o teste de germinação foi realizado a fim de analisar o grau de maturação do composto. Para isso, em copos descartáveis, 13 sementes de alface foram colocadas sobre um algodão umidecido com 5mL de água destilada (amostra controle) e a mesma quantidade de sementes foi colocada em algodão umedecido com 5mL de solução de substrato. Para o preparo da solução, diluiu-se 10g de substrato em 100mL de água destilada (1:10) e agitou-se a mistura por um período 15 minutos. Após a decantação, o sobrenadante foi filtrado. As amostras foram regadas com aproximadamente 2mL de água destilada, uma vez por dia, durante sete dias e mantidas a temperatura ambiente.

A germinação foi aferida pelo critério de emergência da radícula no segundo, quarto e sétimo dias de controle. O teste foi realizado em triplicada e para analisar a eficiência da germinação em cada amostra a porcentagem de germinação (PG), a velocidade de germinação (VG), em número de sementes germinadas por dia, e o índice de velocidade de germinação (IVG) foram calculadas pela fórmula de Maguire (1962).

Após as análises laboratoriais, verificava-se a necessidade ou não de correção de umidade de modo a garantir que o valor estivesse dentro da faixa ideal para a compostagem. Caso houvesse necessidade de aumentar a umidade, a correção era feita com o incremento de água na leira de compostagem no momento do reviramento. Já para valores de umidade acima da faixa considerada ideal, a leira de compostagem era aberta e ficava exposta ao sol, favorecendo a evaporação da água.

As análises foram encerradas quando o composto orgânico chegou à maturação, estando próximo à temperatura ambiente e com teor de sólidos reduzido em 40% em relação ao valor inicial.

4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

A temperatura é considerada por muitos pesquisadores como o indicador de eficiência da atividade metabólica dos microrganismos. Os dados obtidos pelo monitoramento da temperatura encontram-se no gráfico da Figura 1. Em geral, a atividade dos microorganismos no início da compostagem eleva a temperatura de 25ºC (ambiente) para 40-45ºC, em um período de 2 a 3 dias (VALENTE *et al.*, 2009), porém, a leira estudada não seguiu esse comportamento. Nos primeiros 20 dias a temperatura permaneceu abaixo de 45ºC, temperaturas inferiores a este valor caracterizam o estágio mesofílico do processo (FRANÇA *et al.*, 2014). O longo período de temperaturas baixas pode ser justificado pela alta umidade da massa de resíduos (Figura 2). O excesso de umidade reduz a penetração de oxigênio na leira e, nessas condições de anaerobiose, a atividade microbiológica aeróbia é inibida, a decomposição torna-se lenta e a lixiviação de nutrientes pode ocorrer (INÁCIO *et al.*, 2009; ECOCHEM, 2004; RICHARD *et al.* 2002). Além disso, o tamanho reduzido da leira e a falta de material estruturante podem ter dificultado a retenção de calor no meio.

A partir do 21º dia e pelos 27 dias subsequentes, a temperatura da leira começou a subir, apresentando valores entre 42ºC e 67ºC e caracterizando a fase termofílica do processo. Este período coincidiu com teores de umidade dentro da faixa ideal, 45% a 60%. Findada essa fase, a temperatura começou a decrescer, iniciando então, o processo de maturação. Durante todo o processo, a temperatura dos três pontos da leira estiveram acima da temperatura ambiente. Quedas bruscas no valor de temperatura foram observadas nos dias de reviramento devido a incorporação de oxigênio à leira.

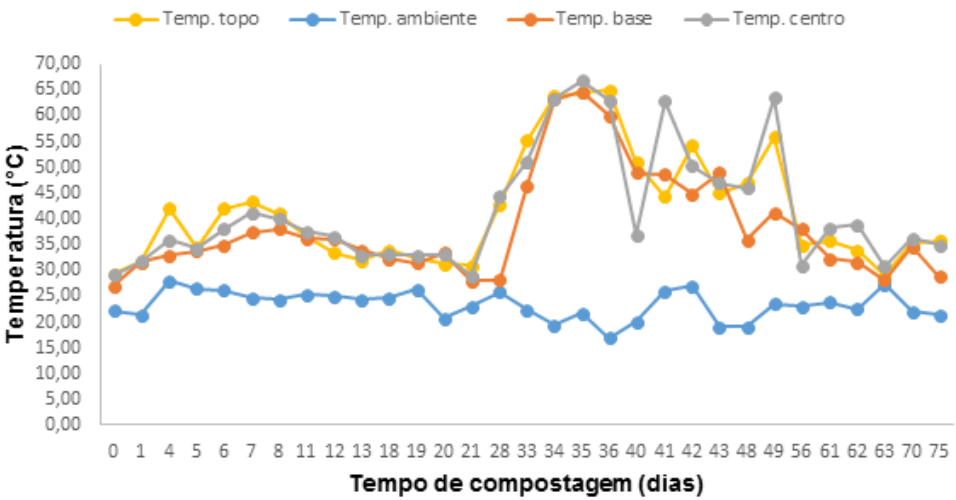

Figura 1. Monitoramento da temperatura.

Fonte: Autores.

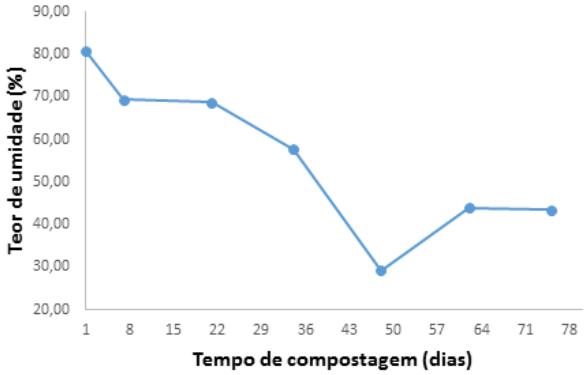

Figura 2. Monitoramento do teor de umidade.

Fonte: Autores.

Segundo Herbets *et al.* (2005), o pH do início do processo de compostagem geralmente fica na faixa de 5,0 a 6,0, podendo nos primeiros dias do processo ocorrer ligeira queda em decorrência da produção de ácidos orgânicos. Pode-se observar na Figura 3 que o pH inicial médio do resíduo estudado era de 4,18, abaixo da faixa comumente observada na literatura. Esse fato pode estar relacionado à acidez de alguns alimentos que compunham a massa de resíduos. O pH ácido no início do processo indica também a falta de maturação do composto ou ocorrência de anaerobiose no interior da pilha. Após certo período, o pH se eleva à medida que os ácidos são metabolizados, tendendo à alcalinidade ao fim do processo (7,5 a 9,0).

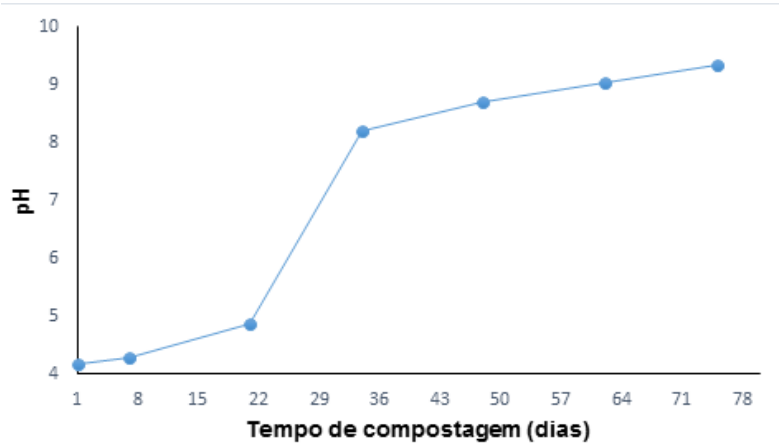

Figura 3. Monitoramento do pH.

Fonte: Autores.

O teor de sólidos voláteis deve decrescer com o passar do tempo, indicando a decomposição da matéria orgânica (FERNANDES e SILVA, 1999). Pode-se observar na Figura 4 que isso ocorre ao longo do processo de compostagem, nota-se a redução dos valores médios do teor de sólidos de 94,18% na primeira semana para 57,97% na última semana.

Segundo Pereira Neto (2007), um processo de compostagem é considerado eficiente se apresentar redução média do teor inicial de sólidos voláteis de 40%. No presente trabalho houve uma redução de 38,5%, mostrando assim uma eficiência muito próxima à indicada.

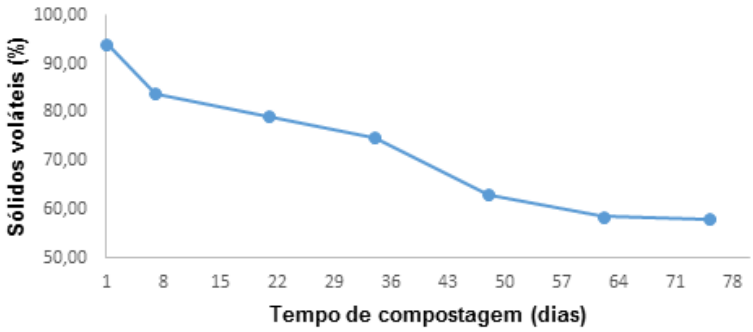

Figura 4. Monitoramento dos sólidos voláteis.

Fonte: Autores.

Foram identificados coliformes no material até a idade de 21 dias. A queda na concentração dos microorganismos, ou sua ausência, coincidiu com o início da fase

termofílica do processo. A literatura afirma que a maioria dos organismos patogênicos é eliminada quando expostos a temperaturas superiores a 55ºC por dois ou três dias (SHI *et al.*, 1999).

Os resultados dos testes de germinação da alface (Tabela 1) mostram que todos os parâmetros analisados: velocidade de germinação (VG), índice de velocidade de germinação (IVG) e porcentagem de germinação (PG) foram ligeiramente superiores para as sementes cultivadas no substrato em relação à amostra controle. Foi verificada nas plântulas das amostras cultivadas no substrato, a abertura expressiva de cotilédones no quinto dia após a semeadura, enquanto na amostra controle, ocorreu no sexto dia da análise.

	Valores médios	
	Amostra Controle	Substrato
PG	68,38	71,79
VG	2,06	2,57
IVG	6,18	7,70

Tabela 1. Média do índice de velocidade de germinação (IVG), velocidade de germinação (VG) e porcentagem de germinação (PG) de sementes de alface submetidas ao substrato do composto.

Fonte: Autores.

Segundo Valente *et al.* (2009), durante o processo de compostagem, verifica-se uma redução da relação C/N em decorrência da oxidação da matéria orgânica pelos microrganismos, que liberam CO_2 através da sua respiração, diminuindo assim a concentração de carbono na matéria. Os resultados encontrados para relação C/N inicial e final, 11,5 e 7,8, respectivamente, concordam, portanto, com o previsto.

A relação C/N inicial da amostra encontra-se abaixo da faixa ideal (25/1 e 35/1) recomendada por diversos autores (ZUCCONI e BERTOLDI, 1987; LOPEZ -REAL, 1994; FONG *et al.*, 1999; KIEHL, 2004). Isto pode estar relacionado ao fato de que nenhum material rico em carbono como, por exemplo, palha, cascas de árvore, podas de jardim, etc. foi incorporado à leira. Além disso, sabe-se que resíduos alimentares são ricos em nitrogênio. Portanto, a baixa concentração de carbono e alta concentração de nitrogênio justificam os resultados encontrados.

Durante o processo de compostagem foram observados os seguintes parâmetros indesejáveis: presença de odores desagradáveis, formação de chorume e presença de moscas e larvas sobre as leiras. A presença de moscas e larvas foi notada até o até 33º, já o odor até o 38º dia. O forte odor pode estar relacionado ao alto teor de nitrogênio da matéria.

Após o 30º dia observou-se que a leira apresentava manchas brancas. Esse fato pode ser associado à presença de actinomicetos, pois suas colônias são visíveis a olho nú em razão da cor esbranquiçada conferida às partículas situadas a aproximadamente 15 cm

abaixo da superfície da massa de compostagem (PEREIRA NETO, 2007).

O chorume, que é o líquido escuro e de mau cheiro que escorre da leira de compostagem, foi observado nos primeiros 21 dias devido ao excesso de umidade. De acordo Godoy (2013), o alto teor de umidade na massa do resíduo é a principal causa da formação desse líquido e essa água tenderá a solubilizar substâncias presentes nos resíduos sólidos, principalmente aqueles de composição orgânica, dando origem a uma mistura líquida complexa com composição química bastante variável.

5 I CONCLUSÃO

A compostagem de resíduos sólidos orgânicos do restaurante universitário se mostrou uma técnica eficiente no tratamento desse tipo de resíduo, uma vez que transformou um passivo ambiental em um composto orgânico estável dotado de valor econômico e útil na fertilização do solo.

Para que a compostagem ocorresse corretamente, os parâmetros monitorados ao longo do processo foram extremamente importantes, pois eles indicavam se a matéria estava sendo degradada de forma adequada para a produção de um composto de qualidade.

REFERÊNCIAS

AKATU. **Zero Hora: saiba como evitar o desperdício de frutas, verduras e legumes.** 2016. Consultado em 09 de maio de 2017. Disponível em: http://www.akatu.org.br/Institucional/SalaDeImprensa/Akatu-na-Midia/Zero-Hora-saiba-como-evitar-o-desperdicio-de-frutas-verduras-e-legumes

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano. **Manual para Implantação de Compostagem e de Coleta Seletiva no Âmbito de Consórcios Públicos**. Brasília, 2010. Lei n. 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº. 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília: Câmara dos Deputados, n. 81, 2010. Consultado em 09 de maio de 2017, disponível em: http://www.mma.gov.br/estruturas/srhu_urbano/_arquivos/3_manual_implantao_compostagem_coleta_seletiva_cp_125.pdf.

ECOCHEM. **Composting process** . 2004. Consultado em 26 de junho de 2017, disponível em http://www.ecochem.com/t_compost_faq2.html

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). **Perdas e desperdícios de alimentos na América Latina e no Caribe**. 2016. Consultado em 09 de maio de 2017, disponível em: http://www.fao.org/americas/noticias/ver/pt/c/239394/

GODOY, J.C. **Compostagem. Boletim técnico – BIOMATER**, 2013. Consultado em 26 de junho de 2017, disponível em: http://www.mma.gov.br/estruturas/secex_consumo/_arquivos/compostagem.pdf.

FERNANDES, F.; SILVA, S. M. C. P. da. **Manual prático para a compostagem de biossólidos.** Londrina: Universidade Estadual de Londrina, 1999. Consultado em 26 de junho de 2017. Disponível em: https://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de programas/prosab/Livro_Compostagem.pdf

FONG, M.; WONG, J.W.C.; WONG, M.H. Review on evaluation of compost maturity and stability of solid waste. **Shanghai Environ. Sci**. v. 18, p. 91-93, 1999.

FRANÇA, J. R.; RODRIGUES, A. C.; FLORES, C. E. Tratamento de resíduos orgânicos provenientes de restaurante universitário:decomposição biológica monitorada. **Monografias Ambientais REMOA/ UFSM**. v. 14, p. 2920 – 2927, 2014.

JIMÉNEZ, E. I; GARCIA, V. P. Determination of maturity indices for city refuse composts. **Agriculture, Ecosystems and Environmen.** *v. 38*, p. 331-343, 1992.

GIUSQUIANI, P.; PATUMI, M.; BUSINELLI, M. Chemical composition of fresh and composted urban waste. **Plant and Soil**. v. 116, p. 278-282, 1989.

HERBETS, R. A.; COELHO, C. R. A.; MILETTI, L. C.; MENDONÇA, M. M. Compostagem de resíduos sólidos orgânicos: aspectos biotecnológicos. **Revista Saúde e Ambiente.** v**.** 6, n. 1, Junho, 2005.

INÁCIO, C.T.; BETTIO, D.B.; MILLER, P.R.M. **Potencial de mitigação de emissões de metano via projetos de compostagem de pequena escala**. I Congresso Brasileiro de Resíduos Orgânicos. Vitória/ES, 8 a 9 de outubro, 2009.

KIEHL, E.J. **Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto**. 4ª ed, 173 p. Piracicaba, 2004.

LI, Z.; HUANG, G.; YU, H.; ZHOU, Y.; HUANG, W. Critical factors and their effects on product maturity in food waste composting. **Environmental Monitoring and Assessment**. *v. 187*(4), p. 1-14, 2015.

LI, Z.; LU, H.; REN, L.; HE, L. Experimental and modeling approaches for food waste composting: a review. **Chemosphere***,* v.93, p. 1247–1257, 2013.

LÓPEZ, M. *et al.* Intelligent composting assisted by a wireless sensing network. **Waste Management**. v. 34. p. 738-746, 2014.

LOPEZ-REAL. J. **Composting through the ages**. Conference of Down to Earth Composting. Dundee, 1994.

MU, D.; HOROWITZ, N.; CASEY, M.; JONES, K. Environmental and economic analysis of an in-vessel food waste composting system at Kean University in the U.S. **Waste Management***,* v. 59, p. 476-48, jan, 2017.

PEREIRA NETO, J. T. **Manual de compostagem: processo de baixo custo**. 1ed. Viçosa: Ed. UFV, 2007.

RICHARD, T. N.; Trautmann, M.; Krasny, S.; Fredenburg and C. Stuart. **The science and engineering of composting***.* The Cornell composting website, Cornell University, 2002. Consultado em 26 de junho de 2017. Disponível em :http://www.compost.css.cornell. edu/composting_homepage.html.

SAER, A.; LANSING, S.; DAVITT, N. H.; GRAVES, R. E. Life Cycle Assessment of a Food Waste Composting System: Environmental Impact Hotspots. **Journal of Cleaner Production**. v. 52, p. 234–244, 2013.

SHI, W.; NORTON, J. M.; MILLER, B. E.; PACE, M. G. Effects of aeration and moisture during windrow composting on the nitrogen fertilizer values of dairy waste composts. **Applied Soil Ecology**. v. 11, p. 17-28, 1999.

THYBERG, K. L.; TONJES, D. J. The environmental impacts of alternative food waste treatment technologies in the U.S. **Journal of Cleaner Production**. *v.158*, p.101-108, 2017.

VALENTE, B. S.; XAVIER, E. G.; MORSELLI, T. B. G. A; JAHNKE, D. S.; BRUM Jr, B.; CABRERA, B. R.; MORAES, P.; LOPES, D. C. N. Fatores que afetam o desenvolvimento da compostagem de resíduos orgânicos. **Archivos de zootecnia.** v.58, p. 59-85, 2009.

YU, H.; HUANG, G. H. Effects of sodium acetate as a pH control amendment on the composting of food waste. **Bioresource Technology**. v. 100(6), p. 2005-2011, 2009.

ZUCCONI, F.; BERTOLDI, M. de. Organic waste stabilization throughout composting and its compatibility with agricultural uses. **Global bioconversions**. p. 109-137, 1987.

CAPÍTULO 5

II-1785 - SETORIZAÇÃO DE UM SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO I – DETERMINAÇÃO DAS CARGAS ORGÂNICAS

Data de aceite: 01/04/2022

Moema Felske Leuck
Engenheira Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS. Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas - IPH/UFRGS. Engenheira Civil do Departamento de Água e Esgotos de Porto Alegre – DMAE/POA. Doutoranda em Planejamento Urbano e Regional pelo Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano e Regional – PROPUR/UFRGS

Carlos André Bulhões Mendes
Eng. Civil, Téc. Mec., Eng. Seg. Trab., M.Sc., M.B.A., Ph.D., P.E.
Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS

RESUMO: O objetivo do trabalho foi desenvolver unidades de agregação para a avaliação integrada do Sistema de Esgotamento Sanitário (SES) Ponta da Cadeia em Porto Alegre, RS, caracterizado por alto índice de cobertura de rede coletora. O desafio é melhorar o desempenho da coleta e condução dos esgotos sanitários, que se concretiza pela melhoria das características do esgoto afluente à Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) Serraria combinado com a melhoria da qualidade das águas do Arroio Dilúvio. A proposta de uma nova forma de agregação denominada setor sanitário permite avaliar o desempenho do sistema através do monitoramento integrado das águas urbanas, comparar o desempenho dos setores e relacionar as características locais aos efeitos ambientais. Através da vinculação da população dos setores ao tipo de ligação, obteve-se a carga orgânica lançada nos sistemas separador e de drenagem e no principal arroio da bacia. A fonte da pesquisa foram as informações do banco de dados georreferenciado da prefeitura. Para melhorar o desempenho de cada setor é necessário maximizar a coleta dos esgotos, atingir a carga orgânica compatível com a população atendida e reduzir as interconexões, as ligações clandestinas, a infiltração e os extravasamentos. O artigo descreve a estratégia do projeto, a configuração proposta para o monitoramento dos componentes do sistema de águas urbanas e demonstra, através da determinação das cargas orgânicas, como fazer a gestão integradas das águas urbanas, A gestão do SES a partir de uma visão integrativa pode promover a eficiência e a eficácia, aprimorar e interconectar os serviços e a infraestrutura das cidades. Além disto, ela pode qualificar o processo decisório, o licenciamento e a regulação destes sistemas.

PALAVRAS-CHAVE: Setor sanitário, sistema de esgotamento sanitário, ligações de esgoto, enquadramento, carga orgânica, gestão integrada das águas urbanas.

ABSTRACT: The study analyzed the status of sewage collection in the Ponta da Cadeia Sanitary Sewage System (SSS) in 2008 and 2018 to assess if the anthropic occupation of the riparian areas has influenced the universalization goals. The sewage indicators were obtained by buffers from 30 meters of the streams and drainage channels axis resulting in five clustering ranges. From 2008

to 2018, the rate of connections served by sewage network ranged from 78,08% to 85,24%, but the basin main watercourse remained in the worst water framing classification. The low effectiveness of sewage connections contributes to the poor environmental performance of the collection system. The results showed that the riparian areas had a reduction of up to 19,32% in the sewage collection in relation to the most distant area. This study provides subsidies to achieve greater efficiency in the sewage systems management and a better resources allocation.
KEYWORDS: Universalization of sanitary sewage; sanitary sewage indicators; water and sewer connections; watercourses.

INTRODUÇÃO

Para melhorar a eficiência da coleta dos esgotos é necessário agregar ao processo de gestão ferramentas de avaliação do desempenho. Segundo Schneider et al, (2017), "a ausência de estudos sobre a abrangência e prestação de serviços de saneamento, constitui uma importante lacuna nas pesquisas no Brasil". Esta questão tem importante relação com a escala adequada de avaliação quando se trata de Sistemas de Esgotamento Sanitário (SES) de grande porte e com alto índice de cobertura de rede coletora.

O SES é definido pela NBR-9648 como "o conjunto de condutos, instalações e equipamentos destinados a coletar, transportar, condicionar e encaminhar, somente esgoto sanitário, a uma disposição final conveniente, de modo contínuo e higienicamente seguro", (ABNT, 1986).

Um bom índice de cobertura de redes não é suficiente para garantir um bom desempenho do saneamento. Existem problemas resultantes "da falta de planejamento e da integração das políticas de urbanização" (Pereira, et al., 2020) que contribuem para a poluição dos rios urbanos e para a baixa eficiência dos SES como: os SES não funcionam como previsto nas normas brasileiras, que estabelece o sistema separador absoluto e, na prática, os sistemas operam como sistemas separadores parciais (Tsutiya, et al., 2004) e (Machado, et al., 2013); os Planos de Saneamento até aqui elaborados consideram exclusivamente o uso redes separativas, deixando de lado o papel dos sistemas de drenagens, e por consequência, a possibilidade de interceptação dos esgotos domésticos que nelas correm (Pereira, et al., 2020 p. 1); junte a isso a dificuldade de ajustar as ligações domiciliares em cidades já consolidadas, onde casas e prédios não foram preparados para se ligarem a uma rede separativa (Pereira, et al., 2020 p. 7).

Ainda, segundo Machado *et al* (2013, p 238), "a alta capilaridade dos sistemas de drenagem urbana das regiões tropicais e subtropicais e a sobreposição entre as redes de drenagem e a rede separadora dificultam a separação destes efluentes. Muitos sistemas planejados para funcionarem como sistema separador acabam por funcionar como sistema misto, devido as ligações clandestinas e a interconexão entre os sistemas de esgotamento sanitário e de drenagem pluvial".

Para avaliar adequadamente desempenho do sistema de coleta de esgotos é necessário fazer um balanço das cargas poluidoras provenientes dos esgotos lançados nas águas superficiais considerando que, além da carga das áreas sem rede separadora e das interconexões entre as redes separadora e de drenagem, existe a carga proveniente dos lotes não ligados à rede, das ligações inviáveis, dos PVs com descargas no pluvial e dos extravasamentos. Deste modo, um plano de monitoramento das águas urbanas se dá nos três meios de transporte dos esgotos: rede separadora, rede de drenagem pluvial e arroios.

Neste contexto, a modelagem e simulação dos sistemas se torna essencial. Segundo Bach *et al* (2014), as práticas de modelagem surgiram em paralelo com conceitos de gestão. Portanto, desde a década de 1990, foi dada maior atenção para a análise integrada e modelagem de sistemas de águas residuais urbanas; ou seja, avaliações que levam em consideração as interações entre sistemas de drenagem urbana, estações de tratamento de águas residuais e corpos receptores.

O decreto lei 7.217/10 (BRASIL, 2010) define que os parâmetros de qualidade dos efluentes devem melhorar progressivamente até que se atinja a meta do enquadramento dos corpos hídricos, dispostos nas Resoluções CONAMA 357 (BRASIL, 2005) e 430 (BRASIL, 2011), sendo que o titular deve propor mecanismos e procedimentos para avaliação sistemática da eficiência e eficácia das ações programadas. Considerando a melhoria da qualidade das águas urbanas, a Resolução estadual CRH 207/2016 (RIO GRANDE DO SUL, 2016) estabeleceu metas intermediárias para o enquadramento das águas superficiais da bacia hidrográfica do Lago Guaíba, incluindo os 13 arroios divididos em 24 segmentos. Este pode ser considerado o passo inicial para que se olhe para o desempenho dentro do SES, para montante da Estação de Tratamento de esgotos (ETE) e para a sua modelagem considerando as interfaces entre as águas urbanas.

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O recorte espacial é o Sistema de Esgotamento Sanitário (SES) Ponta da Cadeia (PC), na cidade de Porto Alegre, RS, em 2018. Este SES, juntamente com os SES Cavalhada, Salso e Zona Sul tem a função de coletar e destinar os esgotos para tratamento na Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) Serraria, Fig. 1, antes do lançamento no Lago Guaíba, corpo receptor e manancial de água da cidade.

O SES PC coleta os esgotos da bacia do Arroio Dilúvio e parte da bacia Almirante Tamandaré e adota o sistema separador absoluto, segundo a NBR 9648/86. O fato de o SES alcançar índices de atendimento de 92,89% da população conectada à rede coletora em 2018, indica a necessidade de melhorar a eficiência do sistema e propor ações que contribuam para atingir as metas de enquadramento das águas do Arroio Dilúvio, que deve passar da classe 4 para as classes 2 (alto) e 3 (baixo) até 2026.

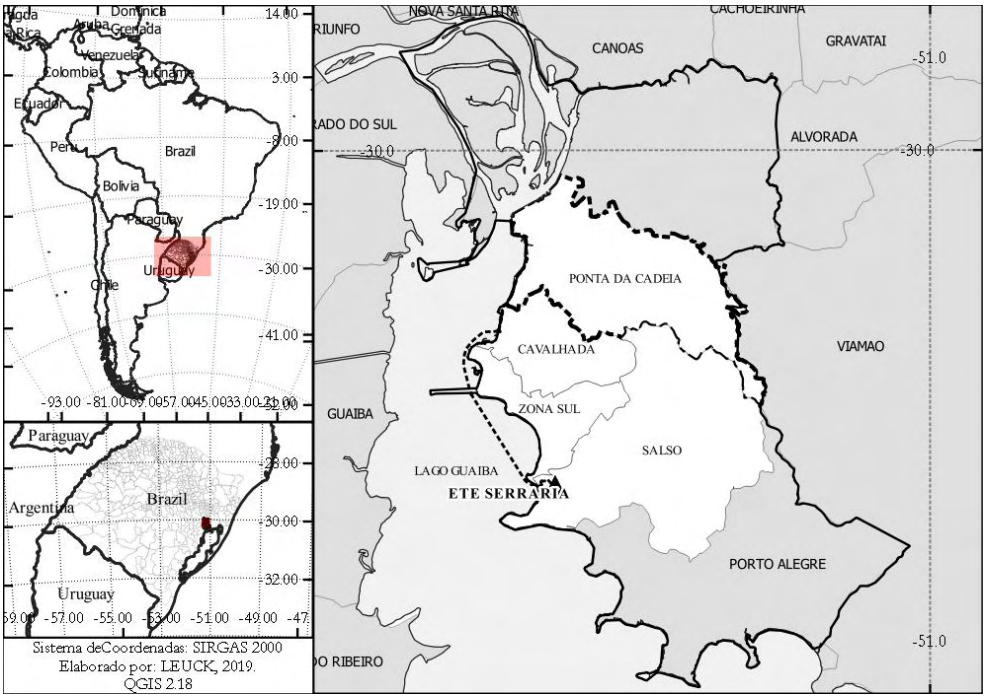

Figura **1**: Localização do SES PC e do sistema Serraria.

A ETE Serraria foi contemplada com recursos da ordem de R$ 39.178.810.21 no Programa de Despoluição de Bacias Hidrográficas – PRODES cujo objetivo é estimular financeiramente a eficiência dos resultados pelo tratamento dos esgotos (BRASIL, [N. I.]) . A aplicação de novas metodologias e modelos de gestão que visem à melhoria da eficiência do tratamento e dos indicadores de coleta dos esgotos é um dos escopos do programa.

O Arroio Dilúvio é o principal arroio da bacia do Arroio Dilúvio, onde se concentra mais de 35% da população da cidade. As péssimas condições da qualidade da água foram ressaltadas por vários autores. Ao analisarem os dados das condições da água de 1995 até 2011, Dalforno e Mattos (2016) concluíram que, à luz do que prevê a Resolução CONAMA 357/05, os parâmetros de qualidade cujos resultados mais a afasta das melhores classes de enquadramento são aqueles relacionados diretamente aos despejos de esgoto doméstico. O desafio de atingir a meta de enquadramento para o Arroio Dilúvio passa pela melhoria do desempenho do SES.

OBJETIVO

O objetivo da pesquisa foi propor um nível de agregação das sub-bacias de esgotamento sanitário, denominado setor sanitário, planejado para viabilizar o monitoramento do sistema de coleta dos esgotos sanitários, considerando a sua interface com o sistema de drenagem pluvial e com os corpos receptores para obter o balanço das

cargas orgânicas lançadas nas águas urbanas.

Em uma escala apropriada, o monitoramento da qualidade das águas urbanas pode ser realizado com uma relação custo/benefício menor. Estes dados, ao alimentarem um modelo digital de qualidade e hidráulico-hidrológico composto pela infraestrutura de drenagem, sistemas de coleta/condução de esgoto sanitário, ETE e corpos hídricos receptores permitiriam a avaliação integrada destes sistemas e o seu controle em tempo real. No monitoramento por sub-bacias a quantidade de pontos de controle fica muito grande, o que inviabiliza o monitoramento e a vinculação destas áreas com o sistema de drenagem. Por isso a adoção de um outro nível de agregação, os setores sanitários.

METODOLOGIA

Primeiramente, foi feita uma verificação geral da cobertura das redes de água e esgoto. A análise espacial com o uso das ferramentas do Sistema de Informações Geográficas (GIS) possibilitou verificar não só a cobertura de saneamento, como também, onde estavam as áreas sem cobertura ou sem interligação ao sistema e suas peculiaridades.

A análise da rede existente iniciou a partir dos coletores tronco derivados do Interceptor do Arroio Dilúvio. A partir do Interceptor a rede de esgoto foi dividida em seus tramos principais e a área de contribuição de cada tramo foi delimitada. Após, foi feita a análise detalhada de cada tramo com o objetivo de agrupá-los para formar as *sub-bacias* de esgotamento sanitário.

A partir das sub-bacias de esgotamento sanitário foi vinculada uma área de contribuição a um exutório. No exutório de cada sub-bacia foi selecionado um ponto de convergência dos esgotos, geralmente um Poço de Visita (PV) com facilidade de acesso ou uma Estação de Bombeamento de Esgotos (EBE). Caso se deseje estabelecer metas de desempenho ou de avaliação de ações localizadas nesta escala, estas áreas e pontos serão os elementos básicos para o provimento de informação.

A etapa final foi agrupar as sub-bacias em setores que atinjam um tamanho adequado para viabilizar a instalação de equipamentos de medição de vazão e coleta de amostras para o monitoramento dos esgotos, os *Setores Sanitários*.

Para identificar, analisar e sintetizar os dados obtidos do banco de dados georreferenciado e do cadastro técnico e comercial da prefeitura foram utilizados os softwares de geoprocessamento Quantum GIS 2.18 e 3.4 e ARCMAP 10.4.1. Os elementos vetoriais utilizados foram as camadas de ramais de ligação de água, de redes de esgoto sanitário e pluvial, PVs, bacias e sub-bacias de esgotamento sanitário, curvas de nível, hidrografia e dos setores censitários do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010). Cada ramal de água é representado por um ponto localizado sobre a economia com diversos atributos referentes ao consumidor.

Os ramais de água são categorizados por tipo de tarifa: sem rede de esgoto – Tarifa

1, com rede de esgoto sanitário – Tarifa 2 e com rede pluvial - Tarifa 3. Os lotes considerados conectados ao SES são os caracterizados pela tarifa 2, ao sistema de drenagem pluvial pela Tarifa 3 e, se não existir rede pluvial nem separadora no logradouro, pela Tarifa 1.

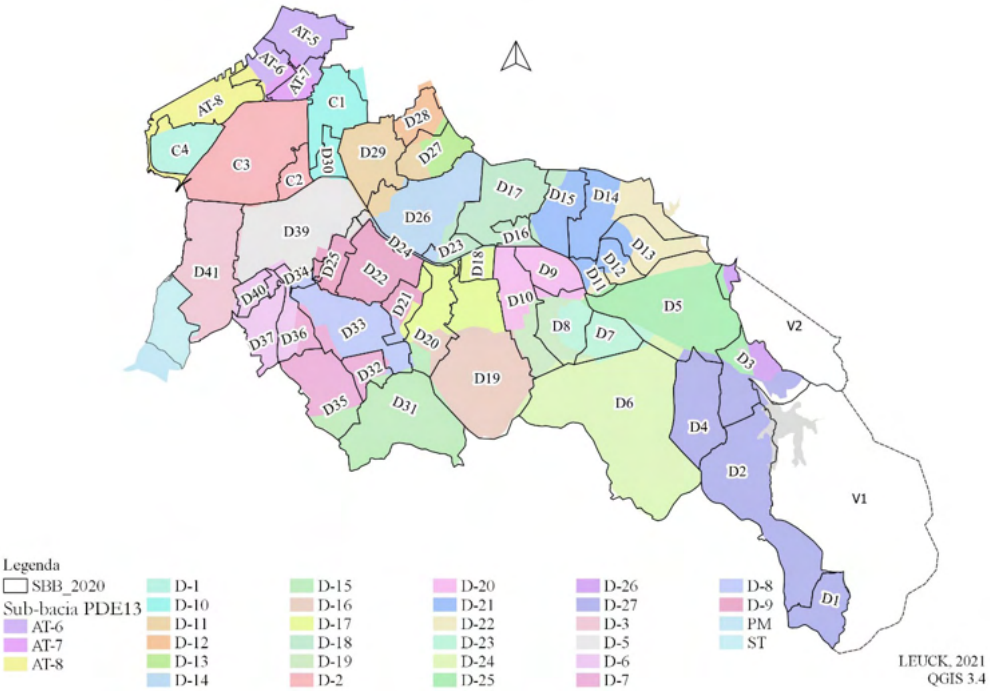

Figura 2: Configuração proposta das sub-bacias de esgotamento sanitário do SES PC sobre a divisão adotada pelo PDE 2013.

É importante salientar que no ramal com tarifa 2 incide em cobrança de tarifa de esgoto sanitário, contudo, não quer dizer que os esgotos sanitários deste lote estejam conectados na rede e sim, que existe rede separadora na frente ou nos fundos do imóvel e que foi instalada a Caixa Adicional de Coleta (CAC). O critério utilizado pelo setor comercial foi considerar como Tarifa 2 os ramais distantes até 20 m dos eixos viários onde passa a rede de esgoto.

Para analisar a situação das ligações de esgoto foi preciso alterar a classificação tarifária dos ramais situados nas áreas onde não existia a possibilidade de coleta ou de integração ao sistema. Assim, foram criadas feições delimitando as áreas sem conexão ao sistema integrado. Isto foi feito através da análise conjunta das redes de água, dos esgotos sanitário e pluvial, dos ramais, dos PVs e das curvas de nível.

A Figura 2 ilustra a divisão das sub-bacias adotada pelo PDE 2013 por cores e o modelo novo, proposto para viabilizar o monitoramento por setores, pelas linhas pretas. A nova configuração resultou em 47 sub-bacias na área do SES e 2 sub-bacias na cidade de

Viamão, V1 e V2. Nas cabeceiras do arroio Dilúvio estão as sub-bacias V1 e V2.

As águas das sub-bacias V1, D1 e D2 direcionam-se para a barragem Lomba do Sabão, um reservatório para captação de água construído em 1940 com 75 hectares de lâmina d'água. A barragem está situada em uma Unidade de Conservação da Natureza do grupo de Proteção Integral com 1.148 hectares denominada Parque Natural Municipal Saint'Hilaire, criada em 2003. A sub-bacia V2 lança os esgotos parte na barragem Mãe D´Água e parte no arroio Dilúvio e a sub-bacia D3 recebe os esgotos destas quatro sub-bacias.

Para obter a população pelas categorias estabelecidas na pesquisa foram usados os dados da Malha Setorial Censitária[1] do censo 2010, (IBGE, 2010), calculada segundo metodologia proposta pelo SNIS, número de economias residenciais ativas multiplicadas pela densidade de habitantes por economia do setor censitário do IBGE 2018. Os dados estatísticos[2] dos setores censitários do IBGE contêm informações sobre a população de cada setor, o número de habitantes (V001), de economias residenciais ativas (V002) e a densidade de habitantes por unidade residencial (V003).

A estimativa da população da cidade é baseada no método de Tendência de crescimento ou AiBi, "em que a população da área menor pode ser estimada por uma função linear da população da área maior" segundo (Corrêa, et al., 2011 p. 2). Cada cidade tem a estimativa da população total divulgada anualmente pelo IBGE. Para ajustar a população a partir dos valores de densidade de habitantes por economia de cada setor censitário foi necessário comparar o valor da população total da cidade com o valor oficial do IBGE e ajustar a diferença entre os dois através da correção do valor V003, para que a soma da população seja igual ao valor oficial.

Os ramais de água contêm os dados de cada unidade consumidora, como o número de economias e o tipo de economia. Os dados de código dos setores censitários foram vinculados aos arquivos georreferenciados dos ramais de água através da ferramenta de geoprocessamento "Intersecção" do QGIS. O valor V003 foi vinculado ao setor na forma de tabela *.csv* pela ferramenta JOIN, neste caso utilizando o código do setor censitário como chave. Após, foi feito o recorte dos ramais de cada categoria, pelas sub-bacias de esgotamento.

A planilha Excel gerada possui o valor da densidade V003 e o valor V003 ajustado vinculado a cada ramal. Assim obteve-se o somatório da população através dos pontos das ligações, conforme o recorte adotado. A população contribuinte da área foi obtida multiplicando-se a densidade ajustada (V003) pelo número de economias residenciais ativas e o consumo mensal foi obtido pela micromedição dos ramais de água. A população das bacias V1 e V2 foi obtida pela soma da população dos setores censitários de 2010.

1 No site https://www.ibge.gov.br/# na aba: Geociências, Downloads, Organização do Território, Malhas Territoriais, malhas_de_setores_censitarios_divisoes_intramunicipais, censo_2010.
2 No site: https://www.ibge.gov.br/# na aba: Estatísticas, Downloads, Censos, Censo_Demográfico_2010, Resultados do Universo, Agregados_por_Setores_Censitários.

Para atualizara população para 2018 foi aplicado o aumento percentual da população total de Viamão em relação ao ano de 2010. Os dados de ligações e consumos referentes à Viamão administrados pela concessionária estadual não foram considerados na pesquisa, mas como a área próxima à divisa dos municípios é abastecida pelo DMAE, os dados destes ramais foram incluídos na pesquisa.

A carga orgânica gerada por setor por tipo de tarifa foi obtida pela população do setor multiplicada pela contribuição de DBO de 0,054 kgDBO/hab.dia (NBR12209/2011). Como a carga poluidora de V1 e V2 é lançada no arroio Dilúvio, elas devem ser consideradas no monitoramento, já que para avaliar a eficiência do SES esta contribuição precisa ser abatida do balanço das cargas.

Para obter os pontos de monitoramento das águas superficias foi necessário segregar os canais livres e arroios dos canais fechados, obter a localizaçao das estações elevatórias ou Casas de Bombas (CB), lançar a localiação dos pontos de modo a compatibilizar a área de contribuição com a área dos setores sanitários e, então, estimar a área de contribuição de cada ponto pela topografia e pelas informações do cadastro da rede de drenagem. Estes pontos tem que ser escolhidos com cuidado, para minimizar riscos de vandalismo e de furtos e obter o máximo benefício dada a escassez de recursos.

RESULTADOS OBTIDOS

Os Meso Setores Sanitários

O agrupamento das 47 sub-bacias do SES resultou em oito áreas denominadas *Meso Setores Sanitários*. O Meso Setor é uma unidade de análise e monitoramento do SES com escala intermediária entre a sub-bacia e o SES que permite viabilizar a avaliação do desempenho, o monitoramento e a modelagem e que pode ser agrupado em setores menores ou maiores, a depender do objetivo e do nível de gestão pretendido.

O mapa da Figura 3 mostra os coletores tronco, os Meso Setores numerados de 1 a 8, a rede coletora e os pontos de convergência dos esgotos coletados, que estão representados pelos pontos de monitoramento da rede separadora, M1 a M9. Os pontos M7 e M9 são EBEs e os demais são PVs.

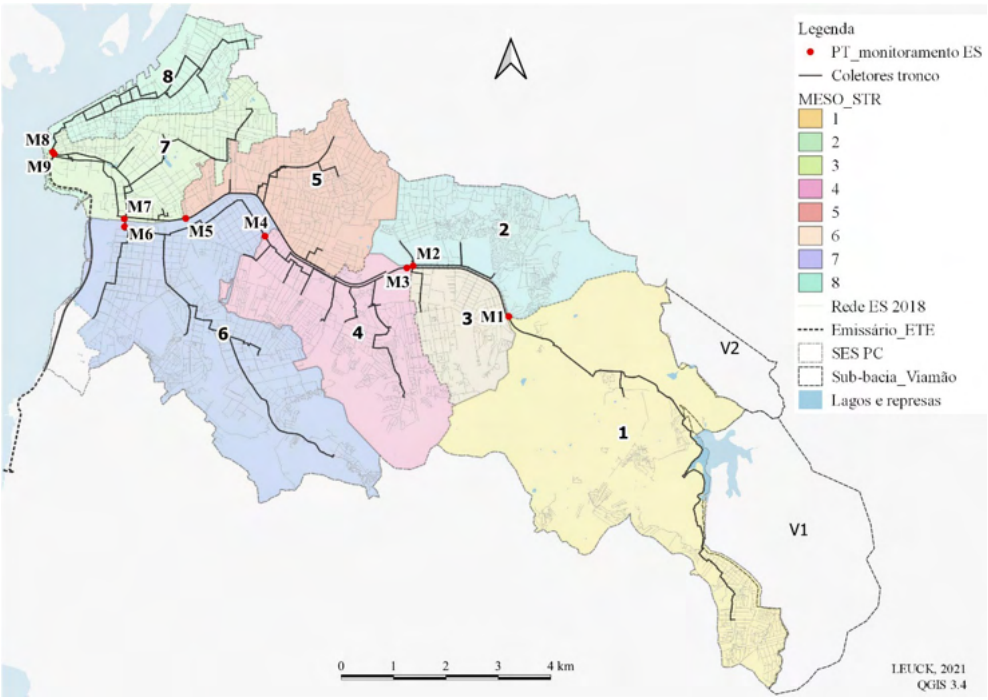

Figura 3: Pontos de monitoramento dos esgotos sanitário no SES PC.

A população total do SES em 2018 era de 536.632 habitantes. O setor com maior população do SES é o M6, seguido pelo M5. A Tabela 1 mostra a estimativa da população por setor para o ano de 2018 e o tipo de serviço de saneamento desta população. Toda a população deste SES é atendida com serviço de abastecimento de água.

Apenas 7,11% da população do SES não possui coleta dos esgotos, o que corresponde a 38.146 habitantes, mais da metade localizada nos setores 1, 6 e 4, que possuem maior incidência de ocupações irregulares. O setor 1 tem maior percentual da população do SES sem o serviço de coleta, 2,31%, seguido pelo setor 6 com 1,76%, Tabela 1. Os setores 6 e 5 tem as maiores parcelas da população com coleta e com tratamento dos esgotos. A população com coleta e tratamento deriva da população com coleta. Nos setores 5, 7 e 8 praticamente toda a população é atendida com serviço de coleta dos esgotos, estes setores estão na área central da cidade com ocupação consolidada e maior densificação.

Apesar do setor 6 ter a maior população absoluta, a maior extensão de rede coletora, Tabela 2, e o maior percentual de coleta, Tabela 1, o setor 7 é o que gera o maior volume de esgotos coletados e tratados, provavelmente por concentrar o setor de serviços e de comércio, seguido pelo setor 6, Tabela 2.

Meso Setor Sanitário	População SPC 2018 (hab.)				População SPC 2018 (%)			
	Com abast. de água AG01	Sem coleta	Com coleta IN024	Com coleta e tratam. IN016	Com abast. de água AG01	Sem coleta	Com coleta IN024	Com coleta e tratam. IN016
1	42.752	12409	30343	10714	6,62	2,31	5,65	2,00
2	53.390	5285	48105	39280	10,03	0,98	8,96	7,32
3	29.286	2433	26853	24511	5,49	0,45	5	4,57
4	59.198	8569	50629	43722	11,28	1,6	9,43	8,15
5	95.736	17	95719	94472	17,73	0	17,84	17,60
6	122.743	9425	113318	98087	22,73	1,76	21,12	18,28
7	92.139	6	92133	91372	17,24	0	17,17	17,03
8	41.388	2	41386	41331	7,56	0	7,71	7,70
Total	536.632	38146	498486	443489	100	7,11	92,89	82,64

Tabela 1: População e tipo de coleta dos esgotos pelos Meso Setores Sanitários do SES PC em 2018.

O setor 1 possui a maior extensão em área e a maior parcela de área verde do SES, Tabela 2. O setor 6 tem a segunda maior área e a maior extensão de rede.

Meso Setor Sanitário SES PC	Área do Setor Sanitário	Área do Setor Sanitário	Extensão da Rede de Esgotos - ES004	Extensão da Rede Coletora Integrada de Esgotos	Volume de Esgotos Coletado - ES005	Volume de Esgoto Tratado - Es006
	hectare	%	km	km	1.000m3/ano	1.000m3/ano
1	2052,44	27,42	91,8	37,67	1433,02	471,9
2	764,25	10,21	92,2	80,13	2264,75	1887,09
3	379,18	5,07	48,6	41,38	1274,95	1173,38
4	972,99	13,00	114,45	96,37	3191,92	2894,27
5	690,8	9,23	106,98	101,79	5874,86	5790,78
6	1612,97	21,55	172,65	158,24	6568,25	5707,78
7	611,69	8,17	79,74	70,91	6817,37	6733,89
8	400,27	5,35	67,68	59,58	4064,87	4058,22
Total	7484,59	100,00	774,1	646,07	31489,99	28717,31

Tabela 2: Área, extensão da rede de esgotos e volume dos esgotos coletados e tratados nos Meso Setores Sanitários em 2018.

O fluxograma da Figura 4, ilustra o fluxo dos esgotos coletados pelas sub-bacias através dos setores sanitários. Para obter o Balanço das Cargas Orgânicas, conforme haja o acúmulo dos setores no ponto monitorado, os dados devem ser agregados ou desagregados como indicado no fluxograma.

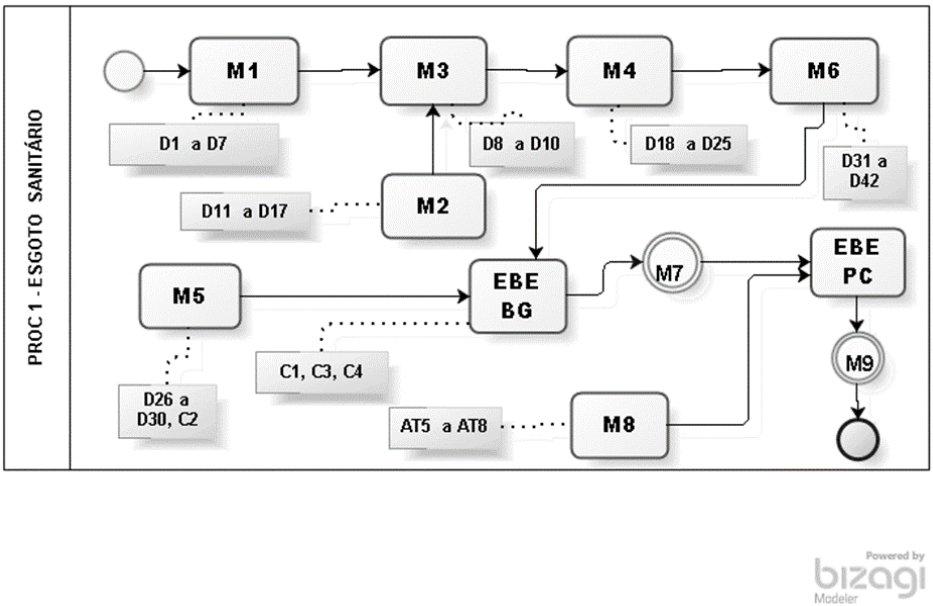

Figura 4. Fluxograma do trajeto dos esgotos sanitários nos Meso Setores através dos pontos M1 a M9 no SES PC.

Conforme mostra a Figura 4, os esgoto dos setores 1 e 2 se juntam aos do setor 3, depois seguem para os setores 4 e 6 até chegarem na EBE Baronesa do Gravataí, que também recebe os esgotos do setor 5. Daí seguem para a EBE Ponta da Cadeia, que recebe os esgotos do setor 8 e os bombeia para a ETE Serraria. Todo o esgoto coletado no SES passa pelo ponto M9.

Os Setores de Monitoramento das Águas Superficiais

Para monitorar as cargas poluidoras presentes nos arroios e águas de drenagem pluvial foram inseridos 8 pontos de controle – H1 a H8, mostrados no mapa da Figura 5. Os canais livres e os canalizados, mas abertos, estão representados pelas linhas em azul e os canais fechados pelas linhas na cor verde.

Os pontos de monitoramento H1 a H5 estão relacionados diretamente ao arroio Dilúvio. Neste caso é importante obter as cargas oriundas do município vizinho, pontos H1 e H2, já que elas devem ser abatidas para a avaliação do desempenho do SES. Até a entrada em operação de uma EBE, a carga da sub-bacia D1 deve ser considerada como lançada na barragem Lomba do Sabão, ponto H1. O ponto H2 recebe os esgotos da sub-bacia V2. Nas demais sub-bacias existem algumas áreas onde a rede coletora não está conectada aos coletores tronco e que necessitam de análise mais criteriosa.

Os pontos H6, H7 e H8 não influenciam a qualidade da água do arroio Dilúvio, visto que as águas de drenagem pluvial do setor 8, no ponto H7 e as águas dos pontos H6 e H8,

são bombeadas diretamente para o Lago Guaíba. Os esgotos gerados no setor 7 podem ser monitorados nos pontos M7 e H6. O ponto H6 tem seu exutório ao lado da foz do arroio, é um ponto importante para avaliar a carga orgânica, pois os esgotos gerados nas sub-bacias C1, C3 e C4 podem ser monitorados nos pontos M7 e H6.

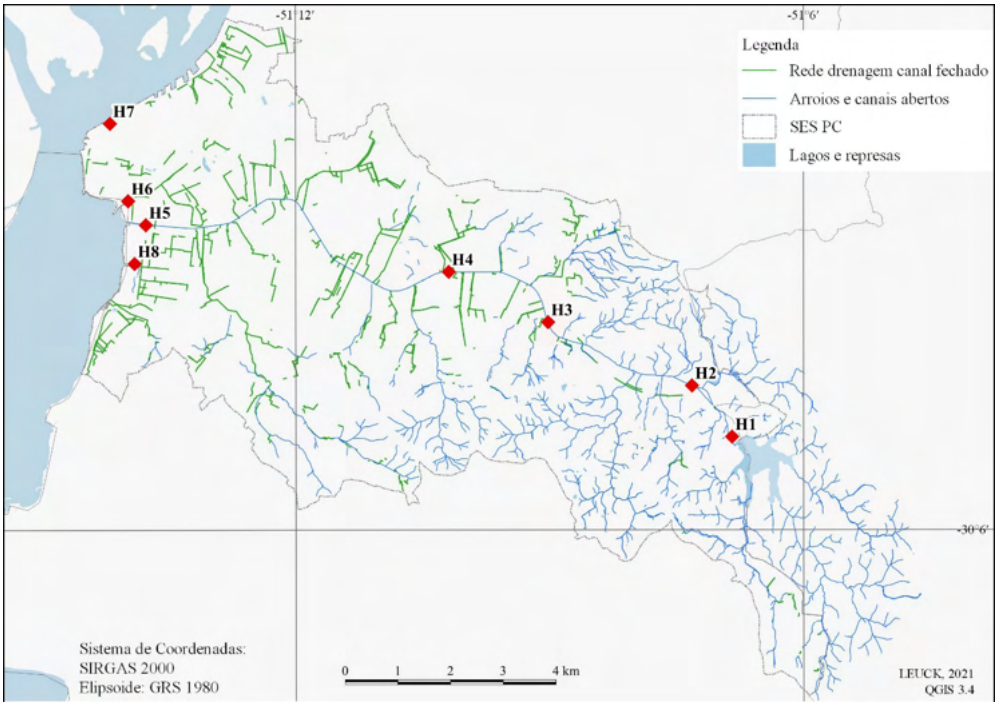

Figura 5: Pontos de monitoramento das águas superficiais na bacia do Arroio Dilúvio.

O fluxograma da Figura 6 mostra o trajeto das águas de drenagem das sub-bacias através dos sistemas de drenagem canalizados ou livres. Os pontos de monitoramento da rede de drenagem e das estações elevatórias ou Casas de Bombas (CB), letras H1 a H8, são representados pelos losangos. Apesar das sub-bacias estarem vinculadas aos pontos H, as fronteiras das sub-bacias de esgoto não se encaixam perfeitamente ao sistema de drenagem, ou seja, a área de contribuição dos esgotos no sistema de drenagem apresenta algumas diferenças em relação às sub-bacias indicadas na Fig. 2. Portanto, para a simulação do modelo digital será necessário um pequeno ajuste na contribuição destas áreas.

A Tabela 3 mostra como foi obtida a população sem rede ou com rede lançada no sistema de drenagem, tarifas 1 e 3, nas sub-bacias e nos setores sanitários. Para obter a população total foi necessário fazer a acumulação dos dados conforme o fluxograma da Fig. 6 e subtrair ou adicionar algumas sub-bacias dentro dos setores para compatibilizar o

sistema de esgotos sanitário ao sistema de drenagem pluvial.

A população que lança sua carga nas águas superficiais foi estimada em 120.549 habitantes, sendo que as sub-bacias V1 e V2 lançam a carga equivalente à 26.406 habitantes.

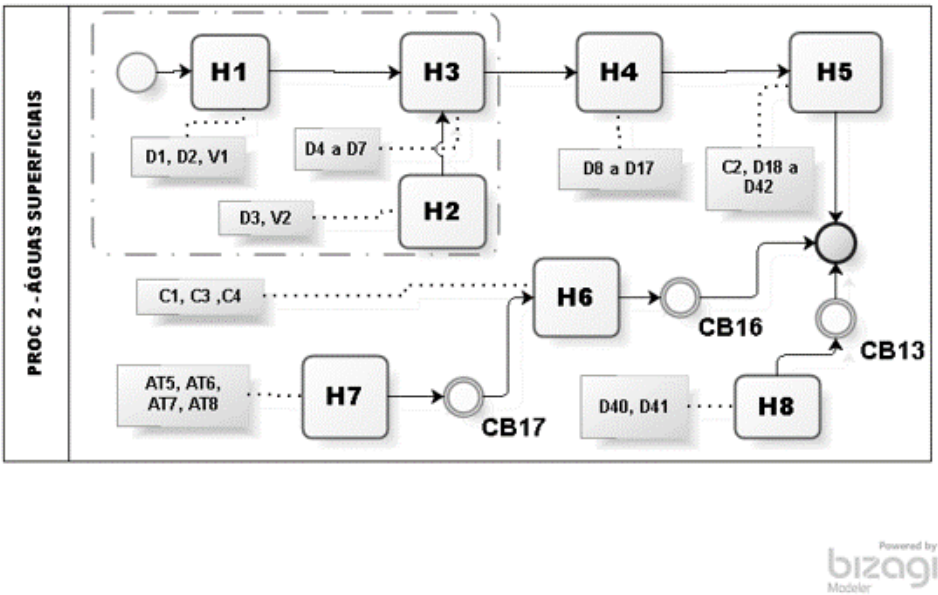

Figura 6: Fluxograma do trajeto das águas superficiais e as sub-bacias contribuintes através dos pontos de monitoramento H1 a H8 no SES PC.

Setor sanitário ou sub-bacia	População com liberação dos esgotos no sistema de drenagem pluvial (habitantes)					
	Por setor ou sub-bacia	Acumulada 1	Acumulada 2	Acumulada 3	Acumulada 4	Acumulada 5
V1	6338	-	-	-	-	-
V2	21068	-	-	-	-	-
1	32038	59444	-	-	-	-
2	14110	-	-	-	-	-
3	4775	78329	-	-	-	-
4	15476	-	93805	-	-	-
5	1264	-	-	-	-	-
6	3804	-	-	97609	-	-
7	767	-	-	99640	-	-
8	57	-	-	-	-	-
6_D41	20852	-	-	-	99697	
EBE PC	72291	-	-	-	-	120549
Total	**120549**	-	-	-	-	-

Tabela 3: População contribuinte para o sistema de drenagem pluvial no SES PC em 2018.

Distribuição das cargas orgânicas nos setores sanitários

Em 2018, os 646 km de rede que conduzem ao tratamento na ETE Serraria, atendiam 71,58% das ligações ativas e 87,79% das economias ativas. As ligações sem conexão à rede correspondem à 12,48% e as ligações conectadas à rede sem destino ao tratamento correspondem a 15,94% das ligações.

Os fluxogramas da distribuição das cargas orgânicas nas águas urbanas das Figuras 7 e 8 foram propostos para avaliar o desempenho dos sistemas de coleta nos setores sanitários. Foram estimadas as cargas orgânicas geradas para os nove pontos de monitoramento dos esgotos e os oito pontos de monitoramento das águas superficiais. Esta configuração também permite avaliar cenários de aplicação de ações nos níveis estratégico, operacional e de gestão.

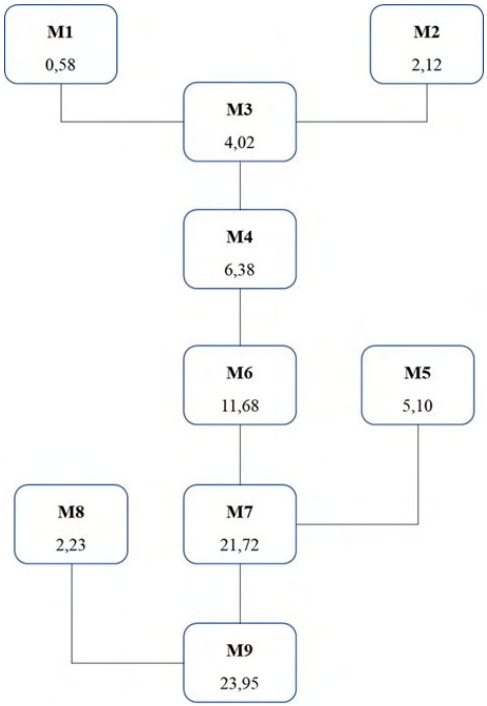

Figura 7: Fluxograma da carga orgânica acumulada nos pontos de monitoramento da rede separadora integrada do SES PC em 2018 (tDBO/d).

Considerando os valores de contribuição de DBO de 0,054 kgDBO/hab.dia (NBR12209/2011) para a população de 443.489 habitantes atendida com coleta e tratamento, tarifa 2, da Tabela 1, a carga orgânica lançada por cada setor vai se acumulando na rede até chegar ao ponto de controle final M9, na rede de recalque da EBE Ponta da Cadeia. A carga total que chega no ponto M9 foi estimada em 23.948,41 kgDBO/dia, Fig. 7, ou 8.741,17 tDBO/ano.

Distribuição das cargas orgânicas nas águas superficiais

O fluxograma da Figura 8 ilustra a estimativa das cargas diárias nos oito pontos de monitoramento das águas superficiais. A carga orgânica lançada e no lago Guaíba foi estimada pelo total da população com tarifa 1, 38.146 habitantes e com a tarifa 3, 54.997 hab., mais a população das bacias V1, 6.338 hab. e V2, 21.068 hab., Tabela 3, o que resulta em uma população de 120.549 habitantes gerando a carga de 6.509,65 kgDBO/dia, que é lançada no sistema de drenagem e se acumula no lago Guaíba. Na foz do arroio Dilúvio, ponto H5, estimou-se o lançamento de carga orgânica de 5.339,14 kgDBO/dia ou 2.376 tDBO/ano.

Não foi considerado o abatimento da carga por tratamento primário do tipo fossa e filtro da tarifa 3, ou seja, a carga lançada nos arroios e no lago pode ser reduzida se os sistemas de tratamento primário condominiais ou individuais estiverem em boas condições de operação. Importante considerar que, ao monitorar estes pontos, obtém-se também a carga orgânica adicional proveniente das fontes difusas de poluição como da lavagem das vias e da ressuspensão da matéria orgânica acumulada na rede de drenagem na ocorrência de chuvas.

Esta quantificação é um importante indicativo da carga de esgotos sanitários lançadas no arroio e seus tributários, que é percebida pela simples constatação visual das águas superficiais do arroio Dilúvio.

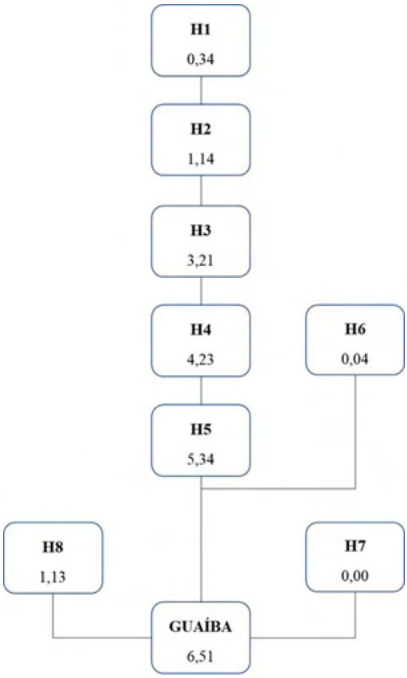

Figura 8: Fluxograma da carga org. bruta proveniente dos esgotos sanitários lançados nas águas superficiais de SES em 2018 (tDBO/d).

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os pontos de monitoramento foram definidos de modo a tornar o sistema fechado, ou seja, que se possa obter o balanço das cargas orgânicas lançadas nas águas superficiais e no sistema de coleta e, a partir daí, comparar as cargas equivalentes da população atendida e não atendida com coleta e as cargas medidas nas águas superficiais e no sistema de esgotamento sanitário.

A carga orgânica total no ponto M9 foi estimada em 23.948,41 kgDBO/dia. Segundo dados obtidos pela Gerência Ambiental e de Tratamento de Esgoto (GATE), a carga total afluente da ETE Serraria oriunda dos quatro SES em 2018 foi de 8.439,50 t, que resulta na população equivalente de 332.255 habitantes. A carga teórica oriunda apenas do SES PC foi calculada em 8.741,17 t para uma população de 443.489 habitantes, ou seja, a ETE recebeu dos quatro SES uma carga menor do que deveria receber apenas do SES PC. A carga total recebida na ETE Serraria equivale a 96,55% da carga produzida pelo SES PC. Ainda, segundo a concessionária as dez ETES da cidade tratam a carga orgânica de cerca de 33% da população. Estes resultados indicam a ineficiência do sistema de coleta considerando o Índice de atendimento total de esgoto (IN056) de 90,47%, referente à população atendida com coleta sobre a população atendida com água.

Para estabelecer metas de atingimento das classes 3 e 2 do arroio Dilúvio, interessam apenas os pontos H1 a H5. Os pontos H6, H7 e H8 lançam a carga orgânica diretamente no lago Guaíba, contribuindo diretamente para o fenômeno da floração de cianobactérias. O ponto H6 ainda provoca um grande impacto visual pelo fato da língua negra dos despejos se localizar ao lado da foz do arroio e em área da orla com potencial de parque de lazer.

Com o monitoramento contínuo, seria possível verificar quais os setores com as maiores discrepâncias entre a carga teórica produzida e a carga medida, direcionando as ações corretivas nestas áreas. Por exemplo, a execução da interligação de um trecho da rede coletora ao sistema integrado produz a redução de certa carga orgânica no ponto H5, consequentemente, deve haver um aumento desta carga no ponto M7, EBE Baronesa do Gravataí. Assim como, se ocorrer uma conexão irregular de um coletor tronco na rede de drenagem haverá uma redução da carga dos esgotos nos pontos M7 e M9 e um aumento no ponto H5. Se ocorrer a ligação da rede pluvial na rede separadora, haverá a diminuição da concentração de DBO num ponto M em tempo seco e um pico de vazão nos primeiros minutos de chuva.

A configuração dos setores foi elaborada em uma escala capaz de permitir a vinculação entre o sistema real e um modelo digital, possibilitando a construção, a validação, a simulação e a calibração de um modelo digital que contemple as variações de vazão, regime pluviométrico e concentração de poluentes nas águas urbanas. No contexto europeu a maioria dos estudos da modelagem integrada têm se preocupado com a otimização da qualidade das águas superficiais, à medida em que os cientistas

reconheceram que isso é determinado tanto pelo efluente quanto pelo escoamento urbano (Schmitt e Huber, 2006 *apud* (Nieuwenhuis, et al., 2021 p. 5). Isso tem sido assim desde a implementação da Diretiva-Quadro da Água da União Europeia (EU) Water Framework Directive (WFD) 2000/60/EC, que define requisitos estritos para a qualidade ecológica do rio. Ao colocar seu foco na bacia do rio como um todo, a WFD defendeu uma abordagem holística e colaborativa para todo o sistema de água urbano (Bach et al., 2014). Estas avaliações levam em consideração as interações entre sistemas de drenagem urbana, estações de tratamento de águas residuais (ETAR) e corpos receptores, com a inversão da lógica do sistema onde o controle é feito a partir do corpo receptor.

A Holanda desenvolveu o projeto integrado de sistemas hídricos Kallisto, que envolveu o Conselho de Água Do Rio Dommel e dez autoridades locais na região de Eindhoven. Na modelagem integrada a bacia hidrográfica, a rede de esgotos, a ETAR e as águas superficiais são simuladas ao mesmo tempo, se comportando como um sistema unificado integrado pelo software WEST. Foi aplicado um modelo de controle em tempo real (RTC) das águas residuais urbanas baseado em impactos, utilizando a infraestrutura existente, em oposição à opção de construção de uma nova estrutura. O sistema todo é operado em função da qualidade da água do rio, onde a operação dos reservatórios e bombas atuam para reter, encaminhar para a ETAR, ou extravasar as águas dos primeiros 10mm de chuva, de modo a minimizar a queda da qualidade da água nos trechos do rio. O foco é a proteção do ambiente aquático das quedas de oxigênio e dos picos de amônia causados pelas descargas combinadas do efluente da ETAR tratado biologicamente, do tanque de decantação do buffer de água da chuva (RBT) na ETAR e das mais de 200 descargas de esgotos mistos. (WEIJERS, JONGE, et al., 2012) e (Benedetti, et al., 2013).

O resultado foi a redução de 19% no número de picos e de 20% na carga de amônia (NH4) lançada no corpo receptor, o rio Dommel. Estes foram os melhores resultados dos indicadores de qualidade das águas superficiais em relação às demais alternativas, melhor ainda pela economia, pois foi utilizado apenas 25% do investimento orçado para a abordagem tradicional, segundo (VAN DAAL-ROMBOUTS et al.2017), (LANGEVELD, BENEDETTI, et al., 2013) e (BENEDETTI, LANGEVELD, et al., 2013).

Os fluxos da carga orgânica estática nas águas urbanas servem para demonstrar como o monitoramento em tempo real pode ser estruturado no SES, permitindo a construção do modelo digital. Conforme o monitoramento avance com o acúmulo de informações inseridas no banco de dados e o modelo seja aferido, haveria condições de simular cenários futuros, prevendo, por exemplo, os impactos de eventos climáticos severos no sistema e a otimização dos bombeamentos, visando a eficiência do tratamento e a redução dos impactos no corpo receptor.

O trabalho baseou-se em quatro dos dezesseis princípios fundamentais para a prestação dos serviços públicos de saneamento básico dispostos no art. 2º da Lei nº 11.445/2007 (BRASIL, 2007) e art. 3º da Lei nº 7217/2010 (BRASIL, 2010): I - a

universalização do acesso e efetiva prestação do serviço, III - abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo dos resíduos sólidos realizados de forma adequada à saúde pública, à conservação dos recursos naturais e à proteção do meio ambiente, V - adoção de métodos, técnicas e processos que considerem as peculiaridades locais e regionais, não causem risco à saúde pública e promovam o uso racional da energia, conservação e racionalização do uso da água e dos demais recursos naturais; e, XII - a integração das infraestruturas e dos serviços com a gestão eficiente dos recursos hídricos. A questão principal para que a meta da universalização do esgotamento sanitário atenda a estes princípios é garantir a proteção das águas superficiais à medida em que se amplia o acesso ao esgotamento sanitário de modo efetivo, através de uma metodologia desenvolvida para a gestão integrada das águas urbanas.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A defasagem entre a carga orgânica produzida pelos consumidores com Tarifa 2 e a carga afluente à ETE não corrobora com os bons resultados dos indicadores de atendimento da população e de cobertura de rede. A péssima condição da qualidade das águas do Arroio Dilúvio também contrapõe aqueles indicadores. Portanto, baixa carga afluente à ETE e demontrando que o SES não está operando de modo eficaz.

O desempenho de um SES pode ser avaliado pela comparação entre a a carga orgânica coletada e a carga afluente à ETE. A gestão de um SES pode ser feita pelos Setores Sanitários através dos dados obtidos nos pontos de monitoramento. A questão mais importante é ter uma boa estruturação dos setores sanitários e dos pontos de monitoramento.

Considerando os resultados da pesquisa, conclui-se que a melhor maneira de avaliar a eficiência da universalização é através do monitoramento e controle dos SES e da drenagem urbana como eles realmente se comportam, de maneira integrada. A configuração proposta prevê a utilização de um sistema de gestão integrado das águas urbanas, contribuindo com a delimitação das fronteiras dos sistemas a serem modelados e com os pontos de alimentação das informações de um modelo digital. Para a implantação de um programa de gerenciamento integrado das águas urbanas, pode-se partir de uma adaptação para o Brasil do modelo proposto por Weijers, Jonge *et al.* (2012) e Van Daal-Rombouts *et al (*2017).

Com a inclusão da modelagem integrada abre-se a possibilidade de um sistema de controle operacional em tempo real, o gêmeo digital, que agrega a melhoria da eficiência para o esgoto afluente à ETE e a possibilidade de coleta em tempo seco usando tanques de armazenamento para atenuar picos de vazão e de carga na chegada da ETE. O que corrobora com o recomendado por Pereira *et al* (2020) para considerar a importância de ajustar as normas técnicas e de prever nos Planos de Saneamento, que serão a base

dos editais de concessão dos serviços, não só as metas e ações para universalização do atendimento via separador absoluto, mas também que considerem, do ponto de vista prático, os sistemas de drenagem existentes e as possibilidades de implantação de ações de coleta em tempo seco.

Na gestão por setores sanitários pode-se estabelecer metas graduais de atendimento de carga orgânica coletada e de melhoria dos indicadores de serviços pela possibilidade de verificar o resultado das ações em cada setor. Outra possibilidade é o monitoramento da carga viral através dos esgotos, pois tem-se a população contribuinte do setor associada a um ponto de monitoramento.

A desagregação do SES em setores sanitários contribui para atingir as metas de enquadramento dos arroios por segmento, sendo um elo importante do processo de gestão dos sistemas. Para assegurar e atrelar a avaliação do desempenho dos SES ao enquadramento dos corpos d'água urbanos sugere-se o monitoramento dos efluentes dos setores sanitários no licenciamento ambiental e na regulação do setor saneamento.

Pelos resultados da pesquisa conclui-se que desenvolver métodos de monitoramento e avaliação considerando a interface entre o sistema de coleta dos esgotos e os corpos hídricos qualifica o processo de gestão dos SES, contribuindo para a melhora progressiva dos parâmetros de qualidade dos esgotos afluentes ao tratamento e das águas superficiais e possibilitando um melhor aproveitamento dos recursos destinados ao setor.

Apesar da pesquisa indicar os meios de obter melhores resultados ambientais e de saneamento, que são de extrema utilidade para os contratos de concessão e para a regulação do setor, a privatização do saneamento não é o que se defende aqui. O que se almeja é que se tenha clareza acerca das condicionantes que interferem no processo da universalização para evitar o desperdício de tempo e de recursos com a expectativa que o setor privado tenha condições de atingir um resultado que o setor público parece incapaz de equacionar.

Certamente que o setor público precisa melhorar a eficiência e isso requer uma profunda reestruturação das concessionárias, conquanto elas terem sido reduzidas ao papel de buscadoras de recursos para contratar projetos e obras. A mudança do foco da expansão e contratação de obras para a gestão e operação dos sistemas será crucial para que o setor melhore os indicadores de saneamento. Contudo, ela precisa estar acompanhada de uma metodologia de avaliação robusta dos resultados pelas agências reguladoras, os órgãos ambientais e pela sociedade.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 1986. *NBR 9648: Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário.* Rio de Janeiro : s.n., 1986.

Bach, P. M., et al. 2014. A critical review of integrated urban water modelling - Uran drainage and beyond. *Environmental Modelling & Software.* 2014, Vol. 54, pp. 88-107.

Benedetti, Lorenzo, et al. 2013. Cost-effective solutions for water quality improvement in the Dommel River supported by sewer–WWTP–river integrated modelling. *Water Science and Technology.* 2013, Vol. 68 (5), pp. 965-973.

BRASIL. [N. I.]. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico - ANA. *Programa Despoluição de Bacias Hidrográficas - Prodes.* [Online] [N. I.]. [Citado em: 30 de 11 de 2020.] https://www.gov.br/ana/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/prodes-1.

—. 2010. Decreto nº 7.217, de 21de junho de 2010. [ed.] Presidência da República. *Regulamenta a Lei no 11.445, de 5 de janeiro de 2007, que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, e dá outras providências.* 21 de Junho de 2010.

—. 2007. Lei nº 11.445, de 05 de janeiro de 2007. [ed.] Presidência da Respública. *Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico; cria o Comitê Interministerial de Saneamento Básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.666, de 21 de junho de 1993, e 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; e revoga a Lei nº 6.* 2007.

—. 2005. Resolução CONAMA n° 357, de 17 de março de 2005. [A. do livro] bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento. Brasília, DF : Diário Oficial da República Federativa do Brasil, 2005.

—. 2011. Resolução n° 430, de 13 de maio de 2011. *Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução n°357, de 17 de março de 2005, do CONAMA.* 2011.

Corrêa, C. S., Myrrha, L. J. D. e Figoli, M. 2011. Métodos AiBi e Logístico para projeção de pequenas área: uma aplicaçãop para a microregião de Angicos - RN. *International Seminar on Population Estimates and Projections: Methodologies, Innovations and Estimation of Target Population applied to Public Policies.* 2011.

Dal Forno, M. A. R. e Matos, V. V. L. 2016. Parâmetros de qualidade da água do arroio Dilúvio, Porto Alegre/RS. *Boletim Geográfico do Rio Grande do Sul.* 27, mar de 2016, pp. 112-135.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. [N.I.]. Censo Demográfico. *IBGE.* [Online] [N.I.]. [Citado em: 14 de 5 de 2019.] https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9662-censo-demografico-2010.html?=&t=resultados.

Langeveld, J. G., et al. 2013. Impact-based integrated real-time control for improvement of the Dommel River water quality. *Urban Water Journal.* 312-329 de 2013, Vol. 10:5.

Machado, A. S., Borja, P. C. e Moraes, L. R. S. 2013. Desafios e oportunidades para a implantação de uma das propostas do PEMAPES: o sistema combinado. *Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais.* 2013, Vol. 1, 2, pp. 234-250.

Nieuwenhuis, E., et al. 2021. Towards the integrated management of urban water systems: Conceptualizing integration and its uncertainties. *Journal of Cleaner Production.* 124977, 2021, Vols. 200, Part 2, pp. 1-11.

Pereira, L. M. F. P., Matos, J. S. e Ferreira, F. S. 2020. Inserção do sistema de drenagem na concepção dos projetos de esgotamento sanitário – sua pertinência, viabilidade e admissibilidade. *Anais do XIII Encontro Nacional de Águas Urbanas.* 10 de 2020, pp. 1-10.

PORTO ALEGRE. 2013. *Plano Diretor de Esgotos Sanitários de Porto Alegre.* [ed.] prefeitura municipal de porto alegre. Porto Alegre : DMAE, 2013. Vol. 1.

—. 2013. *Plano Muncipal de Saneamento Básico - Esgotamento Sanitário.* 1. Porto Alegre : DMAE, 2013.

RIO GRANDE DO SUL. 2016. Resolução CRH n° 207, de 09 de novembro de 2016. *Retifica e complementa o enquadramento e aprova as metas intermediárias para o enquadramento das águas superficiais da bacia hidrográfica do Lago Guaíba.* [Online] 2016. [Citado em: 01 de 11 de 2020.] https://sema.rs.gov.br/resolucoes-crh.

Schneider, V. E., et al. 2017. IV-323 –Diagnóstico sobre a universalização do acesso aos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário no corede Serra. *In: Congresso Abes, Fenasan 2017.* 2017.

Tsutiya, M. T. e Bueno, R. C. R. 2004. Contribuição de águas Pluviais em Sistemas de Esgoto Sanitário no Brasil. [ed.] AIDIS. *Água Latinoamérica.* 08, 09 de 2004, pp. 20-25.

van Daal-Rombouts, P., et al. 2017. Performance evaluation of a smart buffer control at a wastewater treatment plant. [ed.] Elseveir. *Water Research.* 125, 2017, pp. 180-190.

Weijers, S. R., et al. 2012. KALLISTO: cost effective and integrated optimization of the urban wastewater system Eindhoven. *Water practice and Technology.* 2012, Vol. 7, 2, pp. 1-9.

CAPÍTULO 6

MANAGEMENT OF FLUORESCENT LAMPS: A CASE STUDY IN THE METROPOLITAN REGION OF RECIFE, PERNAMBUCO, BRAZIL

Data de aceite: 01/04/2022

Eduardo Antonio Maia Lins
Federal Institute of Pernambuco - IFPE / Catholic University of Pernambuco

Marília Gabriela Jonas de Santana

Andréa Cristina Baltar Barros

Adriane Mendes Vieira Mota

Maria Clara Pestana Calsa

Adriana da Silva Baltar Maia Lins
http://lattes.cnpq.br/9572374845102485

ABSTRACT: Several companies use fluorescent lamps for the comfort and economy advantages they have, but most do not have a management plan for disposing of these lamps. The objective of this work was to present a management plan for the disposal of fluorescent lamps in a *call center company*, where the 5W2H management tool was used. Information was searched on the disposal of these lamps in four companies, and it was necessary to conduct interviews to know if the procedure used for disposal would follow the standards of the legislation. This is because fluorescent lamps are classified as hazardous waste and cannot be disposed of as common waste. We also researched amounts charged by four organizations located in some cities in the state of Pernambuco, specialized in decontamination and environmentally appropriate disposal of fluorescent lamps. It was observed that the transportation fee charged by some of these organizations exerted great influence on the costs for referral to appropriate treatment. The amounts charged by these companies ranged from R$ 1.10 to R$ 1.80 per unit and may also vary according to the amount of lamps collected. Among the four companies surveyed, three charge transportation fees that vary by distance. It was found that the responsibility for the fulfillment of the reverse logistics of fluorescent lamps by the manufacturers of some brands of lamps is being fulfilled.

KEYWORDS: Waste, Mercury, Impact, Management.

RESUMO: Várias empresas utilizam lâmpadas fluorescentes pelas vantagens de conforto e economia que apresentam, mas a maioria não possui um plano de gestão de descarte dessas lâmpadas. O objetivo do presente trabalho foi apresentar um plano de gestão para descarte de lâmpadas fluorescentes em uma empresa de call center, onde foi utilizado a ferramenta de gestão 5W2H. Realizou-se uma busca de informações sobre o descarte dessas lâmpadas em quatro empresas, sendo necessária para tal a realização de entrevistas para saber se o procedimento utilizado para o descarte seguiria os padrões da legislação. Isso porque as lâmpadas fluorescentes são classificadas como resíduos perigosos e não podem ser descartadas como resíduo comum. Também foram pesquisados valores cobrados por quatro organizações localizadas em algumas cidades do estado de Pernambuco, especializadas em descontaminação e descarte ambientalmente

adequado das lâmpadas fluorescentes. Observou-se que a taxa de transporte cobrada por algumas dessas organizações exerceu grande influência nos custos para o encaminhamento ao tratamento adequado. Os valores cobrados por essas empresas variaram entre R$ 1,10 e R$ 1,80 por unidade podendo variar também de acordo com a quantidade de lâmpadas recolhidas. Dentre as quatro empresas pesquisadas, três cobram taxa de transporte que variam de acordo com a distância. Verificou-se que a responsabilidade sobre o cumprimento da logística reversa de lâmpadas fluorescentes por parte dos fabricantes de algumas marcas de lâmpadas está sendo cumprida.
PALAVRAS-CHAVE: Resíduos Perigoso, Mercúrio, Impacto, Gerenciamento.

INTRODUCTION

Hazardous or toxic waste, also called “toxic waste” are those that, when disposed of incorrectly, will cause damage to the environment and living beings in the long term, because their toxins can be released into air, land, and water (MOTA et al, 2011). Such waste usually comes from industries or commerce, but can be residential, agricultural, military, radioactive sources of hospitals, dry cleaners and laundries.

Since the Industrial Revolution, hazardous waste began to have significance, when urbanization increased, due to the population that used to live in the rural area and migrated to the cities, in search of job opportunities, intensifying the generation of more waste (BALBIM, KRAUSE & LINKE, 2016). Among hazardous wastes, mercury appears as a major polluter of the environment, especially if it comes from fluorescent lamps, which represent a significant domestic, commercial and industrial economy, being widely used, without the correct disposal. The fluorescent lamp, when broken, releases the mercury contained inside in the form of vapor that can be inhaled and absorbed in the body, triggering problems to the health of those who handle it or can accumulate in the environment, causing contamination (MORAIS, 2013).

The management of this residue is fundamental for the correct disposal and protection of the environment and the health of living beings. Thus, the process of decontamination of fluorescent lamps of the companies is important, because when the mercury is removed from these lamps, the other components present become recyclable and can be transformed into new materials (MORAES, 2015).

Because it is a hazardous waste, which is often disposed of incorrectly by companies, it was seen the need to research the disposal method that *some call center companies* use for their fluorescent lamps, as well as the cost that this requires.

Studying the disposal management that a specific company was observed that it had no knowledge about the danger of fluorescent lamps that were disposed of improperly. With this, there was a need to create action plans to try to get the resolution of this issue. Creating a management plan for fluorescent lamps used in a *call center company to* reduce environmental impact due to incorrect disposal was the goal of this work.

METHODOLOGY

The call center company here called W was defined as a place of study, located in a building on Avenida Conde da Boa vista nº 150, Recife, Pernambuco, Brazil. The company's building has 12 floors, 11 of them use and responsibility of the company's infrastructure, artificial lighting is used in all work shifts using only fluorescent lamps.

Data collection occurred in a period of 1 year, and the number of lamps in each sector was verified, as well as the frequency of exchanges, depending on the failures presented in the jobs. A questionnaire was conducted with four *other call center companies to* collect information on the procedure for disposing of fluorescent lamps that use and to be able to compare with the procedure of the company W. A study was conducted by four companies that work with decontamination and recycling of fluorescent lamps in the state of Pernambuco and a budget was made on the number of lamps existing in the company W.

The brands of the lamps, the quantity of faulty lamps in each sector, as well as the shape and location that were stored and/or discarded were analyzed. It was also analyzed about the knowledge that the company had about the management of these lamps. It was analyzed that the management of the company's fluorescent lamps, compared with the literature, contained in the current legislations to verify if they were being disposed of correctly.

RESULTS AND DISCUSSION

- **Survey of existing lamps in the company, useful life, and exchange frequency**

The lamps on the operating and administration floors (2,400 units) and the mark of each of them were quantified. The life of the lamps is more than 6,000 h according to the Brazilian Lighting Association (approximately eight months to a year) and their exchange rate is performed only when there are defects, which can take three to six months to accumulate 300 burned lamps.

- **Disposal of fluorescent lamps from other *call center companies***

An e-mail questionnaire was sent to *four call center companies* (A, B, C and D), obtaining a response from only two companies, here called A and B, due to the confidentiality requested. Company A, located about Santo Amaro - Recife – Pernambuco - Brazil, has 5,342 m² and only one *call center operation*, where about 1,700 fluorescent tubular lamps are used for lighting. The exchange frequency is performed immediately when they are defective. The disposal of the lamps was carried out by companies responsible for this type of service in the state of Pernambuco. According to the company's technical responsible, tubular fluorescent lamps (LFT), after the removal of the operation by responsible team, are taken and packed in wooden crate containing a maximum of 300 units, are taken by the

responsible companies. The period to obtain the quantity to fill the crate varies between four and six months.

Company B, located on Av. Dr. Júlio Maranhão – Jaboatão dos Guararapes - PE, has a total area of 36,477 m² and built area of 21,587 m² and only 1 floor of service where about 6,000 fluorescent tubular lamps are 46 used for lighting the environment between the Phillips and Osram brands. The exchange frequency is performed immediately when they are defective. The disposal of Fluorescent Lamps is carried out by a company responsible for this type of service in the state of Pernambuco. According to responsible, the burned lamps are removed and stored in an appropriate place provided by the company responsible for collection, transport, and treatment, where soon after, they are transported in special vehicles to the waste treatment center where they undergo specific treatment.

- **Budget of Companies that work with decontamination and recycle fluorescent lamps**

The recycling company 1, located at Av. Dr. Júlio Maranhão – Jaboatão dos Guararapes - PE, has a total area of 36,477 m² and built area of 21,587 m² and only 1 floor of service where about 6,000 LFT are used for the lighting of the environment between the Brands Phillips and Osram. The exchange frequency is performed immediately when they are defective. The disposal of Fluorescent Lamps is carried out by the company responsible for this type of service. The burned lamps are removed and stored in an appropriate place provided by the company responsible for the collection, transport, and treatment where they are transported in special vehicles to the waste treatment center under specific treatment.

The Recycling Company 2, located in Paulista, Pernambuco, Brazil, has been operating for more than two years in the market of decontamination of fluorescent lamps, from the collection of industrial waste to the final disposal, through the adequacy of materials, physical treatments, chemicals and others. The budget for the decontamination of LF, considering the amount of 300 defective lamps generated every six months by W was R$ 540.00. The company does not require minimum amount of LF to perform the collection in the contracting company, but charges a transportation fee of R $ 250.00 off the cost per unit of LF collected, which is R $ 1.60 per whole LF and R $ 0.50 per Kg when broken. The treatment is done through special machines for service and supporting up to 600 LF units.

Considering the amount of 300 defective lamps generated every six months by W, the budget would be R$ 730.00 cost already added to the transportation fee. Comparing the budget of the two companies it was perceived that despite the price charged by Recycling Company 1, per lamp unit is R $ 0.20 less than recycling company 2 and the price of Kg is R $ 4.50 cheaper too, since Recycling Company 2 has a lower cost than Recycling Company 1, since there is a charge of R$ 250.00 to transport the lamps.

The use of fluorescent lamps in homes, industries, shopping centers is highly advantageous in economic terms. From an environmental point of view, due to irregular

disposal, these lamps offer a great risk of impact to the environment due to the mercury contained inside. So what to do with used fluorescent lamps? How and why should they have special treatment at the time of disposal? Rabbit *et al.* (2012) showed that fluorescent lamps have to have special management because of the mercury contained inside, and cannot be treated as common waste. According to Brasil *et al.* (2011), Law 14.236/10 (PERNAMBUCO, 2010) underscores this statement, which states that it is forbidden to dispose of fluorescent lamps in an inappropriate place. Therefore, business managers should note that these issues are of paramount importance when it comes to the health of the environment and, consequently, of human beings as well.

- **5W 2H Tool Action Plans**

In the company W, according to the quantity of burned lamps to be discarded and due to logistics, four actions were created, using the tool 5W2H. In Action 01, information was sent by e-mail to the company's management and the problem of storage/disposal of burned LF was presented (Table 1).

Tool	Steps	Details
5th W	What, what? (what?)	Introduce the problem of improper storage and disposal of Fluorescent Lamps
	Why is it? (why?)	To generate science among all managers about the risk of contamination by unprotected storage of fluorescent lamps in the warehouse and also the risk of environmental contamination by improper disposal.
	Where, where is it? (where?)	Company W - Recife Branch II
	Who, who? (who?)	Marilia Santana
	When? (when?)	24/02/2021
2:00 p.m.	How is it? (how?)	Send an email to all managers with environmentally legal information about storage and proper disposal of Fluorescent Lamps alerting the risks that their improper disposal may pose to the environment and people.
	How much? (cost)	N/A

Table 1 - Action 01 - Pass information to managers to present storage and disposal problems of fluorescent lamps.

Source: The Authors (2022).

The use of fluorescent lamps in homes, industries, shopping centers is highly advantageous in economic terms. From an environmental point of view, due to irregular disposal, these lamps offer a high risk of impact to the environment due to the mercury contained. So what to do with used fluorescent lamps? How and why should they have special treatment at the time of disposal?

Rabbit *et al.* (2012) showed that fluorescent lamps have to have special management because of the mercury contained inside, and cannot be treated as common waste. Article 57 of Decree No. 23,941 underpins this statement, which states that it is forbidden to dispose of fluorescent lamps in an inappropriate place. Therefore, business managers should note that these issues are of paramount importance when it comes to the health of the environment and, consequently, of human beings as well. In action 02, budgets of some companies providing services around treatment and destination of LF in Pernambuco were presented (Table 2).

Tool	Steps	Details
5th W	What, what? (what?)	Present budget of companies providing services around treatment and destination of LF.
	Why is it? (why?)	For management to analyze all budgets and service proposals to do so, hire what seems best to the reality of the company.
	Where, where is it? (where?)	Company W - Recife Branch II
	Who, who? (who?)	Marilia Santana
	When? (when?)	14/03/2021
2:00 p.m.	How is it? (how?)	Send to management via e-mail proposals of budgets of companies that provide treatment service and destination of LF.
	How much? (cost)	N/A

Table 2 - Action 02 - Sending budgets of companies providing services.

Source: The Authors (2022).

In the W company after any proposal that requires money is opened a Purchase Request, where it is analyzed by the company's headquarters and passes 55 per approval process, which can take from 1 to 3 months depending on the urgency and relevance of the purchase. In action 03 it was suggested creation or purchase of boxes to pack the burned lamps while not taken to the destination (Table 3).

Tool	Steps	Details
5th W	What, what? (what?)	Create space to pack burned lamps.
	Why is it? (why?)	The lamps are packed standing without any protection against breaking amid the other objects in a tight tank
	Where, where is it? (where?)	Infrastructure depot
	Who, who? (who?)	Infrastructure employees
	When? (when?)	01/04/2021 to 29/04/2021
2:00 p.m.	How is it? (how?)	Store burned lamps in their own packaging and condition them in cardboard box or drum to temporarily store them.
	How much? (cost)	N/A

Table 3 - Action 03 - Suggestion to create space to pack burned lamps.

Source: The Authors (2021).

Because they store fluorescent lamps in an inappropriate place and without any protection (Figure 2), it was also suggested the purchase of boxes manufactured especially for the packaging of burned tubular fluorescent lamps. Budget research was conducted between two companies (Table 4). Apliquim (2016), also suggests that the storage of lamps is preferably carried out in the original packaging in cardboard boxes and can be accommodated in suitable containers. Just as Zavariz & Glina (1993) said that lamps should be stored in their original boxes and placed in sturdy containers to prevent their breakage.

Enterprise	Box details	Number of boxes needed to store burned 300 LF of the company W	Value per box	Total value
Marzuky - goes in the box	Cardboard box with capacity to pack 80 1.20 lamps (Figure 3)	4 boxes	R$ 49,50	R$ 198,00
Mecca smart collection	Container capable of storing 150 lamps (Figure 4)	2 containers	R$ 942,00	R$ 1,884.00

Table 4 - Budget of fluorescent lamp packaging boxes companies.

Source: Marzuky (2021).

Figure 2. Fluorescent lamps packed in an inappropriate place.

Source: The Authors (2022).

Note a difference of R$ 1,686.00 in value between the boxes of the two companies. This difference is because the box of the company Marzuky is made of cardboard and the Mecca is of more resistant material and has activated carbon filter that retains fumes of mercury vapor, in case the lamps break. There are also dotters that prevent shock between the lamps, lock, and footrest to be transported by forklifts.

It was suggested that the company W invest in the purchase of the container box of Mecca Coleta, as it is a more developed equipment for the task of safely storing fluorescent lamps.

Frame 4's action plan for the disposal of the company's fluorescent lamps was suggested. With the hiring of a company specialized in the disposal of hazardous waste that presents a viable budget. The infrastructure sector being responsible for the operational part of withdrawal, storage and contact with the company contracted for the treatment service and final destination environmentally appropriate for fluorescent lamps.

Tool	Steps	Details
5th W	What, what? (what?)	Perform treatment and final disposal of burned lamps
	Why is it? (why?)	Avoid contamination in the environment by chemical components of lamps.
	Where, where is it? (where?)	Lf treatment center and final destination
	Who, who? (who?)	specialized company contracted for the service
	When? (when?)	Semiannually
2:00 p.m.	How is it? (how?)	After a period (3 to 6 months) of storage of lf in a safe place they will be transported by company contracted for treatment and final destination.
	How much? (cost)	R$ 540.00 per semester

Table 4 - Action 04 - Dispose of Fluorescent Lamps correctly.

Source: The Authors (2022).

The four budgeted companies do the same work of decontamination and recycling of fluorescent lamps. By the processes of crushing and recovery of mercury using the heat treatment mostly. Besides being a legal determination, the correct disposal of fluorescent lamps is a citizen attitude, which aims at environmental well-being and promotes the economy of natural resources, besides avoiding contamination, since it is hazardous waste.

Most of the time, the incorrect disposal of this type of waste occurs because people are unaware of the damage they can cause not only to the environment, but also to themselves. It would be interesting to create campaigns where this information was passed, not only for companies but also for ordinary people who also use fluorescent lamps in their homes and most often dispose of them in ordinary waste.

FINAL CONSIDERATIONS

- Some call center companies that were researched for this work still do not know what to do with their defective fluorescent lamps, and end up performing the disposal improperly, due to the lack of information and supervision of the responsible agencies.
- In relation to the manufacturers of phillips and osram fluorescent lamps, used in the company W, it was observed that they do not comply with the sector agreement, which prevents reverse logistics from being made, proving that they are not taking responsibility for their waste.
- The companies that work with treatment service and destination of fluorescent lamps were able to perform such service, but do not have enough structure to cover the entire State.

REFERENCES

1. APLIQUIM BRAZIL RECYCLE. **Manual of Storage of Fluorescent Wool and containing Mercury,** 2013.

2. BALBIM, R.; KRAUSE, C.; LINKE, C.C., **City and movement: mobility and interactions in urban development**, Brasília: Ipea: ITDP, 2016. 326 p. ISBN: 978-85-7811-284-4.

3. BRAZIL, Y.M.G.M.; SIMÕES, A.S.; ADISSI, P.J.; RODRIGUES, F.R.N., **Analysis of the Reverse Logistics System of Fluorescent Lamps of Public Lighting of South Ceará**, XXXI National Meeting of Production Engineering, Belo Horizonte, MG, Brazil, October 4-7, 2011.

4. COELHO, M.G.; BURJAILI, M.M.; MARAGNO, A.L.F.C.; JUNIOR, M.R.F.; CASTINEIRA, J.L.P.; Mercury Lamps Burned a Solid Residue Causing Environmental Problems, **Journal Environmental Sciences Online**, v.8, n. 1, 2012.

5. MazURKY. https://www.mazurky.com.br/categoria/caixas-de-papelao-para-descarte-de-lampadas/. Accessed: 22/01/2021.

6. MECCA. **Products developed by Meca Coleta Inteligente**, Curitiba, PR, 2021.

7. MORAIS, A. S.C. **Incorporation of Fluorescent Lamp Glass Residue in Red Ceramic**, Doctoral Thesis, Science and Technology Center of the State University of Norte Fluminense, 2013.

8. MORAES, V.M. **Fluorescent Lamp Residues: Its Context in PNRS and the Importance of Proper Destination**, Undergraduate Monograph, Federal University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2015, 57 p.

9. MOTA, J.C.; ALMEIDA, M.M.; ALENCAR, V.C.; CURI, W. F. **Environmental Characteristics and Impacts Caused by Solid Waste: a Conceptual View**. I International Congress of The Underground Environment, September 15-18, 2009, São Paulo, SP.

10. PERNAMBUCO, **Law No. 14. 236, of December 13, 2010**. It provides for the State Solid Waste Policy, and provides other measures.

11. ZAVARIZ, C.; GLINA, D.M.R.; Effects of Occupational Exposure to Mercury on Workers of an Electric Lamps Industry Located in Santo Amaro, São Paulo, Brazil, **Cad. Saúde Públ**., Rio de Janeiro, 9 (2): 117-129, Apr/Jun, 1993

CAPÍTULO 7

ONLINE MONITORING OF THE MUNICIPAL SOLID WASTE COLLECTION SYSTEM

Data de aceite: 01/04/2022

Eduardo Antonio Maia Lins
Federal Institute of Pernambuco - IFPE / Catholic University of Pernambuco

Roger Ramos Azevedo

Fuad Carlos Zarzar Júnior

Joaquim Teodoro Romão de Oliveira

ABSTRACT: The amount of solid waste generated does not increase gradually with the increase in population and excessive consumption. An ineffective waste collection system can harm public health and the environment. In this work, a methodology was developed and used to assist the waste collection system in the City of Recife, facilitating the management of urban solid waste collection. Such methodology, based on software created by the urban cleaning company of the city. It was possible to verify some problems in the tactical and operational management in the collection of solid urban waste in the city of Recife, such as: not optimizing the fleet of existing vehicles, productivity above the preparations as optimal in most sectors, densities below or above average, among others. Thus, there was a need to identify the collection system so that the management would become more effective. Advantages facilities with the implementation of the system generated a reduction of irregularly dumped waste, making an operation 75% cheaper, thus obtaining an income for investment in equipment, gain of scale and improvements for an operation.

KEYWORDS: Garbage, OnLine Management, Collection, Trucks.

RESUMO: A quantidade de resíduos sólidos gerada no planeta vem aumentando gradativamente com o aumento populacional e consumo excessivo. Um sistema de coleta de resíduos ineficaz pode trazer danos à saúde pública e ao meio ambiente. Neste trabalho foi desenvolvido e aplicado uma metodologia para auxiliar o sistema de coleta de resíduos na Cidade do Recife, facilitando o gerenciamento da coleta de resíduos sólidos urbanos. Tal metodologia, baseada em softwares criados pela empresa de limpeza urbana da cidade. Pôde-se constatar alguns problemas no gerenciamento tático e operacional na coleta de resíduos sólidos urbanos na cidade do Recife, tais como: não otimização da frota de veículos existente, produtividades acima das estabelecidas como ótimas na maioria dos setores, densidades abaixo ou acima da média, entre outros. Com isso, verificou-se a necessidade de reestruturação do sistema de coleta para que o gerenciamento se tornasse mais eficaz. Vantagens obtidas com a implantação do sistema gerou uma redução de resíduo despejado irregularmente barateando a operação em 75%, obtendo assim, uma renda para investimento nos equipamentos, ganho de escala e melhorias para a operação.

PALAVRAS-CHAVE: Lixo, Gestão On-Line, Coleta, Caminhões.

INTRODUCTION

The urbanization process that Brazil has been going through since the 1950s, with the consequent density of urban centers, has caused many Brazilian cities, especially those that grow rapidly, to suffer serious environmental, social and sanitary problems (MARTINS, 2012). The sanitary problems are mainly caused by the inadequate management of Municipal Solid Waste (USC) where they are thrown in a disorderly way in the streets, squares, streams, and wastelands causing risks to humans and the environment (WHO, 2007).

Economic and cultural aspects together with the demographic issue acceleratethe deterioration of natural resources, where the amount of solid waste produced by populations is related not only to the level of wealth, but also to the values and habits of life, determinants of the degree of willingness to perform consumption. Americans, for example, generate about two kilograms of municipal solid waste (USC) per inhabitant per day, and the Japanese, also of high purchasing power, exhibit behaviors that result in a significantly lower generation, slightly more than one kilogram (GODECKE *et al*. 2012).

The amount of waste produced by a population is variable and depends on several variables such as: income, climate, floating population, festive periods, etc. And to perform an efficient collection, it is necessary to understand that the operation encompasses from the departure of the vehicle from your garage, in addition to the efficiency of the collection during the route for removal of local waste to the return to the starting point (CUNHA; CAIXETA FILHO, 2002).

Often, these paths that should be carried out by fleets can be diverted by numerous factors without the prior knowledge of a company. The use of technological systems has been one of the great solutions for companies in order to control possible deviations of paths of fleets of waste collection trucks, in addition to inspection for an adequate packaging of waste. This work aimed to bring solutions to the problems presented and strategies to improve the efficiency of collection trucks in the collection and packaging of municipal solid waste (US) in the city of Recife, Pernambuco, Brazil.

METHODOLOGY

Recife is a municipality in the State of Pernambuco, Brazil. With a territorial area of approximately 218.435 km², being formed by an alluvial plain, islands, peninsulas, and mangroves as its main geographical characteristics. It consists of 94 neighborhoods, with an estimated population of 1,653,461 inhabitants (IBGE, 2020).

The generation of waste in Recife was analyzed according to the weighing data in the CTR - Candeias landfill, provided by DLU (Urban Cleaning Board), in which it belongs to EMLURB (Urban Maintenance and Cleaning Company). The relational data of urban waste weighing in the landfill were analyzed in variation of the total values collected from the first

half of 2016 to the first half of 2018, in order to relate the intrinsic virtues to the aspects mentioned, the study was based on pre-existing parameters in books and articles on the generation of municipal solid waste.

The weighing record began with the arrival of the vehicle and/or equipment at the landfill, where the vehicle was previously registered and linked to the collection/cleaning service it performs. Weighing was carried out at the entrance and exit of the vehicle in the landfill.

RESULTS AND DISCUSSION

Regarding the amount of garbage generated, according to Brown data (1993), garbage production can range from approximately 0.46 to 2.27 kg/inhabitant/day, depending on the city and the reference country. Corroborating the author, the weighing data obtained show that Recife has values like the estimated margin. Table 1 shows the variation of the average garbage production from the first half of 2016 to the first half of 2018 using as a basis the population growth obtained through IBGE (2020).

Semester	kg/et/day
2016.1	1,63
2016.2	1,66
2017.1	1,51
2017.2	1,50
2018.1	1,63

Table 1 - Generation of Solid Waste in Recife.

Source: EMLURB - DLU (2020).

According to Peral (1989), the generation of waste, that is, the amount of waste produced by a population, is quite variable and depends on several factors, including:

- the population's standard of living: the volume generated grows as the population's income increases.
- the time of year.
- way of life of the population: it is influenced by the daily migration between the city center and the periphery.
- movement of the population during the holiday periods, weekends and festive days.
- new methods of packaging goods, such as the use of packaging and packaging without a return.

- **The Collection System**

According to Table 2, it is observed that it is possible to select the types of collection of the highest volume of residue. This analysis demonstrated, in a summarized way, that garbage collection still takes place largely in the Household Collection, that is, a collection method in which the citizen has the residue in front of his residence usually in plastic bags that seek to facilitate the operation. However, only this procedure is not enough for the perfect operation of the operation, ideally, the residue is arranged outside the reach of animals, in a capped dumpster, with sufficient protection to avoid accidents to the worker and still be made available only when the collection time of the region is close. However, it is noticeable that society often does not receive the proper instructions, making it difficult for the operation to be optimized. It is also emphasized that it is a collection service most used in Brazil, being considered one of the most expensive.

Collection Type	2016	2017	2018
HOME	60,12%	64,61%	77,91%
SCRIPTED	8,97%	9,04%	10,56%
SELECTIVE SEVERAL	0,26%	0,27%	0,35%
OTHER	30,66%	26,08%	11,19%
Total Collected(t)	**482**	**448**	**486**

Table 2 - Volume by collection type.

Source: EMLURB (2020).

The data presented in Table 2 show a significant increase in household collection. This growth is through the implemented logistics that sought to serve the hard-to-access residences with tipping strategies. Thus, known due to the “pulls” that occur through a manual collection with workers as pedestrians to access limited access locations, such as alleys and staircases and through a motorized collection by smaller vehicles compared to the traditional collection truck of 15 or 18m³. These other vehicles are smaller trucks and motorcycles that access narrow, steep streets where the truck would not be able to access. After collection, the garbage is taken to the main corridors and left in planned locations, called containment points that are local where the residue remains for a maximum of 1 hour until the traditional collection truck arrives at the site and makes the collection.

All this operation is timed and accompanied by real-time tracking, where a monitoring center is performing the aid so that deadlines are met, and all collection sites are met. At all times the plant receives tracking information, traffic, misuse and any other done that may endanger the fulfillment of the operation at the due time.

The collection of waste in daily life becomes a routine, and with this, it became

realized that the vehicles followed the same route from time to time until the collection cycle was closed and thus return the same route of the first day. Emlurb's inspection began to observe the need to reduce the size of the cycle so that the same site was cleaned with a shorter time interval, and so it was done until the cleanness of the site was noticed. In the same way, it happens when you want to reduce costs, where logistics increases the interval of the cycle and thus runs the risk of making the site at the mercy of collection with the material waiting. Regarding the frequency of waste collection, Monteiro (2001) points out that the minimum frequency of permissible collection in a warm climate country such as Brazil is three times a week. For Guerra (2011), one way to evaluate the quality and efficiency of USManagement is the analysis of data on the frequency of household collection and treatment given to waste in the municipality.

The monitoring center, in turn, begins to study these cases, with the help of weighing readings and photographic records performed in the field before and after the collection, and thus define the intervals of the cycle, also called collection frequency. With this, we can create collection routes per day of the week, increasing the frequency in places most in need and reducing in less needy places. With this financial and time savings, some vehicles began to serve more than one location or service with strategic logistics. Canassa (1992) managed to reduce a course from 54,182 meters to 47,131 meters (13%) in Florianópolis (Santa Catarina - Brazil). Eisenstein and Iyer (1997) defined conjuntos of routes different from those being used for collection in Chicago (Illinois - United States), which could reduce the capacity of the trucks used by between 12 and 16%, which means a potential reduction of US$ 9 million in the costs involved.

The scripted collection had a somewhat lower scale increase when compared to the growth of household collection. This type of collection brings with it a major environmental, economic, and social problem, because the garbage storage sites are usually sidewalks, wastelands, squares and public roads. Your material can be as variable as household waste and can still contain household waste. The materials found deposited irregularly usually have a large volume and difficult access. However, thus, it can be classified as scripted because the site now presents a constant amount of waste to collect.

- **Monitoring strategies**

Faced with such demand and responsibility towards society, the strategy adopted for management was based on routine and cyclical planning on a weekly basis. The technology implemented as the main aid in the monitoramento of the collections was the tracking of vehicles and equipment, as shown in Figure 1.

Figure 1. Rastreamento system for waste collection in Recife.

Source: EMLURB – DLU (2020).

With this tool aligned with monitoring, it was inserted in an online platform for monitoring and extraction of reports, with tracking indexes verified with the previously registered planning, as well as the display of all vehicles and / or equipment in real time, being possible also the classification of equipment, issuance of alerts, quick responses and other functions of great impact for the operation to mitigate its failures, achieving speed gain in solutions and corrections.

The number of vehicles and equipment in operation at the same time, both in business hours and in other times occurs on a large scale, starting to require a team that contains many employees, which may be financially unfeasible for the operation. Thus, filter and sampling methodologies were analyzed to indicate where most of the problems were occurring, in addition to the most severe cases.

The methodology was achieved through automation of verification processes, creation of performance indicators, warnings that would help identify possible risks to the operation, thus causing an improvement in the response time to unforeseen events, enabling decision-making for correction or changes in search of appropriate adjustments to the route.

As well as vehicle monitoring by means of coordinates registered as collection points, other collection points are inserted daily by municipal inspectors, who seek irregular dumping of waste. These locations are registered through a mobile application, where it is launched directly on an online platform requesting the collection and cleaning of the site.

On the other, the selective collection service carried out in Recife is divided into two methods that seek to meet and give the opportunity to all citizens to be able to select their garbage and thus contribute to the environment. It is important to remember that to join this public service the citizen will not have cost and will receive instructions for the dumping of the selected garbage. The citizens receive plastic bags of different colors for the selection of the residue periodically and according to the availability of the resident along the conditions offered by the public power . In general, selective collection methods happen as follows:

- Through the Voluntary Delivery Points (PEV's), which is a stationary collection box located throughout the city, to adapt the demands offered by each region, being available for 24 hours for the dumping of the material. At predetermined frequencies, EMLURB removes THE PEV's with waste, replacing it with a sanitized box, transporting the waste to the sorting centers. Then, the company performs a sanitization of the collector and leaves it prepared for a next replacement.
- The collection at the citizen's door, with date and time marked by trucks suitable for this service, is triggered when there is no PEV, or when there are many employees nearby. It is a faster collection and a higher cost since the whole procedure is repeated to the truck when it reaches its limit or closes the day of activity. To register and participate in such service, the resident must seek EMLURB and inform themselves of the days and times of collection not their address or call the call center dialing 156. With this, the resident will receive the instructions to dispose of the material and the colored bags for the separation of the residue. It is important to say that the city has a limited number of participants due to the small availability of vehicles for such an operation, but in contrast, this number of participants has increased, as well as the volume of weighing of this service. The growth is symbolic, but it does not yet have the speed desired by managers and municipal leaders. According to EMLURB, there was an increase in registration by 0.01% between 2016 and 2017 and 0.08% between 2017 and 2018. These values are still derisory when compared to the most recent value of waste generated in the municipality, onde in 2018, in the best brand, selective collection reached 0.35% of the total volume of waste generated.

FINAL CONSIDERATIONS

- According to the analyses for 2016, 2017 and 2018, the figures are a proportional order of magnitude among some main services. Most of the time, the residues are placed in the "common garbage" and are not quantifiable, which demonstrates how the issue is treated in a secondary way, a situation that deserves to be changed, because observed individually at the points of generation the volumes may not be significant to enable a system, which does not occur when observing the picture.
- These individual initiatives end up bringing a non-uniform treatment to disposal, the same waste that in some points are discarded, are recycled in others. This fact shows not only the waste of resources but also that, just as it seeks to give correct destination in some points, in others the issue is over considered.
- In the economic aspect, the online collection service has an operational cost of approximately 1/4 of the cost at which the Household Collection would have to collect a similar volume in equal operating time. And consequently, selective collection was evaluated according to the same criteria and obtained a ratio of 1/3 for door-to-door collection and 1/6 for the collection performed in ENP. These

values state that the advantages in reducing irregularly dumped waste cheaperate the operation by 75% simply because it leaves the garbage in the correct place and at the correct time, and even though this value can still be reduced to 12.5% if the waste is selectively separated and taken to a voluntary delivery point, thus obtaining a possible income for investment in equipment, gain of scale and improvements to the operation.

- In general, the software technology allowed to record information pertinent to waste management, identifying those involved and optimizing processes such as the request for collection, preparation of routes, issuance of documents, preparation of reports, etc.

REFERENCES

1. BROWN, D. T. **The legacy of the landflll: perspectives on the solid waste crisis**. St. Catharines: Brock University. Institute of Urban and Environmental Studies, 1993. http://www.brocku.ca/epi/legacy.txt (Aug 8, 2020)

2. CANASSA, E.M **. Planning of routes of urban solid waste collectorvehicles**. Master's thesis , Federal University of Santa Catarina, Florianópolis, 1992, 134p.

3. CUNHA, V.; CAIXETA FILHO, J. V. Management of municipal solid waste collection: Structuring and application of nonlinear programming model by goals. **Management & Production**, v. 9, n. 2, 2002. p. 143-161.

4. EISENSTEIN, D.D.; IYER, A. V. Garbage collection in Chicago: a dynarnic scheduling model. **Management Science,** v.43, n.7, p.922-933, July 1997.

5. GODECKE et al. (2012), Consumerism and the generation of municipal solid waste in Brazil, **Rev. Elet. in Management, Education and Environmental Technology**, v. 8, no. 8, p. 1700-1712, e-ISSN: 2236-1170.

6. GUERRA, A.E. (2011) Quality and Efficiency of Sanitation Services. In: **BRAZILIAN INSTITUTE OF GEOGRAPHY AND STATISTICS**. Sanitation Atlas 2011. Brasilia: MCidades. p. 28-46. Available in: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/atlas_saneamento/default_zip.shtm>. Accessed: 12 Nov. 2020.

7. IBGE - BRAZILIAN INSTITUTE OF GEOGRAPHY AND STATISTICS, 2020. **Result of preliminary census data - 2020**. Available: https://ibge.gov.br/. Accessed: 12 Nov. 2020.

8. MARTINS, K. **Disorderly Urban Expansion and the increase in environmental risks to human health: the Brazilian case**. Monograph, University of Brasília, Planaltina, DF, 2012, 65 f.

9. MONTEIRO, J.H.P. (Org.). (2001) **Manual of Integrated Solid Waste Management**. Rio de Janeiro: IBAM. 204p.

10. World Health Organization (WHO). **Population health and waste management: scientific data and policy options.** Report of a WHO workshop Rome, Italy, 29-30 March 2007. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe; 2007.

CAPÍTULO 8

IMPLEMENTATION OF IMPROVEMENT ACTIONS IN THE SOLID WASTE MANAGEMENT PROCESS IN SMALL AND MEDIUM CITIES: CASE STUDY OF THE MUNICIPALITY OF PATROCÍNIO LOCATED IN THE STATE OF MINAS GERAIS – BRAZIL

Data de aceite: 01/04/2022

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua
PhD in Chemistry from the Federal University of Uberlândia
Post-doctoral in Chemistry at the Federal University of Uberlândia/Minas Gerais
http://lattes.cnpq.br/12970002659897780
https://orcid.org/0000-0003-3587-486X

Bruno Elias dos Santos Costa
PhD in Chemistry from the Federal University of Uberlândia
Post-doctoral student in Chemistry at the Federal University of Catalão/Goiás
http://lattes.cnpq.br/9995122149910490
https://orcid.org/0000-0002-9306-0939

Valdinei de Oliveira Santos
Specialist in Environmental Education, by the Institute of
Fern Education and Higher Education
Professor at the Dom Eliseu State School - Unaí/Minas Gerais
http://lattes.cnpq.br/5877647086852971
http://orcid.org/0000-0002-3400-0143

ABSTRACT: The absence of public policies aimed at minimizing the problems related to the collection and final disposal of solid waste, associated with the absence and/or poor quality of this public service provided to the society that finances it through its taxes and duties. The construction of sanitary landfills and the creation of a selective collection program are seen as unnecessary expenses, since "garbage" can be disposed of in any area or place. Therefore, homes and the commercial sector are responsible for generating most of the waste that is collected and disposed of in an inappropriate way and in inappropriate places, and much of this waste could be recycled, reused or minimized in its generating sources. The lack of a well-established solid waste management program with short, medium and long-term goals causes several municipalities in Brazil and the state of Minas Gerais to generate volumes of waste that increase every day and consequently contaminate soils and consequently the water resources. Therefore, this work aims to present proposals for actions that can collaborate with municipalities to implement a solid waste management program that brings returns in terms of savings in public spending and the generation of employment and income to countless families who work with the collection and recycling of discarded materials.
KEYWORDS: Landfills; selective collect; trash; recycling and water resources.

1 I INTRODUCTION AND BACKGROUND

In the past, the waste produced by the population was, for the most part, easily degraded organic compounds. However, with industrialization, the production of non-durable goods and processed foods increased, leading to a change in the characteristics and volume of this waste produced, causing serious consequences for public and environmental health (GALVÃO; BASÍLIO SOBRINHO; SAMPAIO, 2010). For Galvão et al. (2010), the increase in the amount

and diversity of waste generated by society has contributed to the worsening of the sanitation problem in most municipalities due to the lack of effective planning, solid waste management, among others, factors associated with sanitation. The absence of public results of the creation of graves, of problems of creation of soil of the graves of initiatives of great problems of creation of individuals, of creation of problems of private initiative and of problems of creation of individuals of great importance, vector of problems of breeding serious individuals and breeding problems of major public health impact.

ABNT (1987) defines the term “garbage” or “solid waste” as the “remains of human activities that have no use, are undesirable and disposable, and can be presented in the solid, semi-solid or liquid state, provided that is not amenable to conventional treatment. For Poleto (2010) the term “garbage” can be defined as everything that is no longer wanted, that is, no longer desired and discarded, in other words; they are old, useless and devoid of any value to human beings. Therefore, the accumulation of garbage is an exclusively human activity, derived from the lifestyle that has developed over time, which results in the production of a very large amount and variety of garbage, causing soil, water and air pollution with waste. toxic or potentially toxic, in addition to promoting the proliferation of disease vectors (BRAGATO; SILIPRANDI; DAGORT, 2021; CAMPOS; BORGA; SARTOREL, 2017; HESS, 2002). As a result, the discussion about environmental impacts by different segments of society (governmental agencies, private initiative and society in general) has increased, with the objective of seeking ways to reverse and/or minimize the damage caused to the environment. environment. Such concern is justified due to the increase in the population, today with more than 7 billion people, with a growth projection to 9.6 billion by the year 2050. To maintain this number of people, with the current lifestyle, triple the amount of natural resources on planet Earth would be needed (FRACASSO et al., 2017; ONU, 2017). In addition, the increase in the generation of waste can trigger a greater number of diseases from the poor management of it, which causes the death of approximately 5.2 million people, 4 million of which are children, per year. In global terms, the volume of waste produced is expected to double by 2025 (DAMBROS; CRUZ, 2012).

In the Brazilian scenario, as pointed out by the Brazilian Association of Companies and Public Health (ABRELP), in 2015 the number of urban solid waste generated annually was 79.9 million tons with an average of 90% of collection. This means that 7.3 million tons of waste were improperly disposed of due to the lack of collection. It is important to emphasize that the 90% collection rate does not mean the most correct destination possible (sanitary landfill), since in most municipalities there is a predominance of dumps or controlled landfills that do not offer adequate final disposal, resulting in several environmental impacts that directly affect the health of the population, causing an increase in the leasing of financial resources for public health in this segment (ABRELP, 2015), resources that could be applied to improve and increase the service capacity of the health sector itself, as well as for other sectors of society that currently lack greater financial contributions from public managers.

Brazil has a huge territorial area (8.516.000 km^2), being the fifth largest country in the world. Its population, according to the last census carried out by the Brazilian Institute of Geography and Statistics - IBGE - indicated a population of 209 million inhabitants distributed throughout the five regions of the country. However, this distribution is not homogeneous and was measured by the IBGE as follows: (*i*) 22% of the population lives in the state of São Paulo; (*ii*) 24% of the population lives in the country's 27 capitals; (*iii*) 57% of the population lives in only 5.7% of the country's land area; (*iv*) only three states, all in the North region, have less than 1 million inhabitants; and (*v*) only 0.8% of the municipalities have a population of more than 500 thousand inhabitants. This survey showed that the Southeast region has almost 88 million inhabitants, representing 42% of the entire population (IBGE, 2018). Within the Southeast region, there is the State of Minas Gerais with the largest number of municipalities (853) of the 5570 existing throughout the country, being the second most populous state in the country (21 million) with approximately 2.5 million inhabitants in the capital. (12%) followed by a population of almost 2 million inhabitants distributed in three cities: Uberlândia, Contagem and Betim.

Therefore, just over 21% of the population live in just four municipalities and the remaining 79% live in 849 municipalities (99.5% of the total). The state of Minas Gerais is divided into 10 regions, namely: Central, Midwest of Minas, Jequitinhonha/Mucuri, Zona da Mata, Northwest of Minas, North of Minas, Rio Doce, South of Minas, Triângulo Mineiro and Alto Paranaíba (IBGE, 2018).

Faced with the global and Brazilian reality, the municipalities of the state of Minas Gerais are not far from the lack of actions for better management of solid waste from households, commerce, health, industrial and civil construction sectors, needing to implement a management plan of solid waste with actions to be developed in the small, medium and long term.

In this sense, this work intends to present actions that can be developed at the initiative of the public sector, with the active participation of the population and the commercial and industrial sectors located in the municipalities, having chosen the municipality of Patrocínio in the state of Minas Gerais as a case study, to be presented and discussed in the present work.

2 | WORLD AND BRAZILIAN SCENARIO OF BASIC SANITATION

The deficit in sanitation services, in terms of collection, intermediate treatment and more adequate final disposal of urban solid waste, should be a priority in the government plans of municipal managers due to the direct impacts that can affect the quality of life of the population in various ways. However, large parts of Brazilian municipalities have not yet adapted to the regulatory frameworks of the sector due to the lack of qualified human resources to prepare a plan and present to state and federal governments the contribution

of financial resources for its implementation (BRASIL, 2016).

Through the federal government, the National Solid Waste Policy - PNRS was instituted through Law No solid waste, which was established in three concepts: (*i*) solid waste generators: individuals or legal entities that generate solid waste through their activities, including consumption; (*ii*) reverse logistics: return of solid waste to the business sector, for reuse, in its cycle or in other production cycles, or other environmentally appropriate final destination and (*iii*) tailings: solid waste that, after all treatment possibilities have been exhausted and recovery do not present any other possibility than disposal in sanitary landfills (PNRS, 2010). The PNRS establishes that people must properly package the garbage for its collection, making the separation where there is selective collection (KONRAD; CALDERAN, 2011). However, due to the almost non-existence of collection associated with the lack of awareness by the majority of society, which does not have the perception of the importance of their participation as a responsible agent to provide a better quality of life in their environment and consequently for the environment (SUESS et al., 2013).

The implementation of a solid waste management program needs to be seen as a public policy that, a *priori*, will require enormous efforts from the municipal government in partnership with the state and the union and that, a posteriori, will bring enormous benefits not only for society, but the drastic reduction of financial resources destined to public health to attend to health problems triggered by the bad management of solid waste. This can be explained by the composition and constitution of the waste: 57% organic matter (food scraps, spoiled food, toilet waste), 16.5% plastic, 13.2% paper and cardboard, 2.5% glass, 1.6% ferrous material, 0.5% aluminum, 0.5% aggregates and 8.1% other materials (IPEA, 2017; NOBRE et al., 2021).

Therefore, the creation and consequently the application of a waste management plan is of paramount importance to: (*i*) improve people's quality of life; (*ii*) reduce resources destined to urban collection and cleaning services; (*iii*) increase the useful life of sanitary or controlled landfills; (*iv*) reduce health costs related to diseases linked to poor management and handling of waste; (*v*) improve the preservation and conservation of different ecosystems, especially aquatic biota; (*vi*) reduce costs in treating water for drinking purposes; (*vii*) generation of employment and income for families that live on recyclable materials and (*viii*) reducing the speed of withdrawal of natural resources, through the creation of policies that encourage the use of recyclable materials, among others (SOUSA; CHAVES; ALVIM, 2015).

2.1 Introduction of toxic metals into the soil from vehicles or automotive parts

Vehicle service establishments, such as: dismantling, mechanical workshops, junkyards, parking lots, auto parts recyclers, vehicle collection and seizure yards can be considered as sources of environmental contamination by toxic metals (MAKARA et al., 2014; REVITT et al., 2014). This is due to the fact that the vast majority of these establishments

are not covered or have soil waterproofing (Figure 1), causing the metals to be leached through the soil, reaching groundwater and consequently contaminating it. In addition to metals, oils and greases from other services contaminate the soil and subsequently water bodies (LANGE, 2018).

Figure 1: Examples of junkyards and seizure yards in cities in the state of São Paulo.

Source: authors' collection (2022).

These places are also sources of refuge for venomous animals, rats, cockroaches and mainly breeding grounds for the *Aedes Aegypti* mosquito, which annually is responsible for the death and temporary disability of thousands of people throughout Brazil, making it necessary to declare an epidemic annually in several states and Brazilian municipalities. In order to avoid both soil contamination by metals and the development of breeding sites for the dengue mosquito, it will be up to the municipalities: (*i*) to establish and define a deadline for the owners of junkyards, as well as mechanical workshops between other places that store pieces close to the ground, waterproof the ground and cover the patios; (*ii*) the legislature may propose to the executive branch, the release of new permits and the renewal of the existing ones, under the pre-established conditions and including the waterproofing of the ground and the covering of the patio (total or partial), avoiding all the problems as mentioned earlier.

2.2 Encouraging and encouraging the participation of society

Society, in general, does not feel, much less sees itself as part of fundamental importance for the proper functioning of a project that aims to reduce waste generated in their homes and consequently the amount of waste destined for inappropriate places for their due disposal. The idea that "... not being close to me, it doesn't offer me risks..." is impregnated in Brazilian society, since the concept of pollution is directly related to what is seen and what is not known about its harm, the health. In this sense, this vision associated with the lack of a policy that encourages society to seek greater clarification leads people to not have a keener environmental conscience.

Faced with this scenario and knowing that through formal education, the training or reformulation process can take a long time, it is necessary to create mechanisms that lead people to adopt more appropriate solid waste management practices through incentives that will attract the interest of society immediately, among which we can mention: (*i*) creation and development of efficient programs of Environmental Education in the initial grades of the municipal school system, with the possibility of being expanded to the state network through agreements and partnerships with the state. In order to achieve this goal, it will be necessary to adopt some actions (suggestions), including: (*i*) teachers from the municipal school system must undergo effective training, aiming at a better understanding of the preservation and conservation of the environment during activities carried out in the classroom, with simple attitudes to be developed, such as: not throwing garbage in the street or land without buildings; the importance of personal hygiene and cleaning of their homes; not to dirty the rooms as well as other parts of the school; teach the importance of conserving and preserving the cleanliness of places of public use; and others according to the characteristics of each educational institution (NASCIMENTO; AGUIAR, 2021); (*ii*) implement, in a simple and playful way, the importance of returning plant residues (barks, branches, rotten fruits, among others) to the soil in schools located both in urban and rural areas; (*iii*) promote, at least, quarterly the day "taking care of mine and our environment" to be held, preferably, on weekends full time with the offer of: competitions and activities that work on the development of environmental awareness for parents and students; workshops that work in order to teach how to transform recyclable products into utensils, artistic and decorative objects and even the reuse of recyclable materials; offer of lectures by invited professionals or professors from the network who teach subjects directly or indirectly related to the theme; (*iv*) the days of the school calendar for the celebration of the day of water and the environment must be correlated with the issue of pollution caused by the generation of solid waste, since these directly or indirectly affect the quality and existence of these celebrated themes; and (*v*) offer a percentage discount on the IPTU value to be paid in the year following the implementation of this program, considering for the purpose of calculation the period (months) and the amount of recyclable material generated that will be accounted for by members of the association of collectors during residential collection.

2.3 The attributions and responsibilities of the municipality to implement the waste reduction program

The municipality will be responsible for: (*i*) leading the creation and constitution of an association of collectors of recyclable materials, helping them at all stages (opening, operation, training and management) and offering an initial infrastructure consisting of a land with a shed, waterproofed floor and small machinery to start the work of collecting and processing recyclable materials; (*ii*) technical support in order to professionalize the association, leading it to become independent after a certain period of time; (*iii*) provide

an area for receiving organic waste and materials of plant origin for composting and transformation into organic fertilizers to be sold to the citizens themselves or purchased by the municipality; (*iv*) make available small areas and infrastructure for the creation of points for receiving recyclable materials in its various districts and villages, with collection by the collectors association with a frequency to be stipulated according to the amount generated; (*v*) promote and encourage the attraction of a company specialized in material recycling, eliminating middlemen. Such a company can be implemented in the municipality through: availability of area for construction of the enterprise, tax incentives, among others.

2.4 In the organizational structure and public facilities owned by the municipality

Within the scope of the organizational structure of the physical facilities used by the municipality, it will be responsible for: (*i*) training the servers who work in garbage collection, offering information and training aimed at identifying only the waste that cannot be reused; (*ii*) implement actions to reduce or minimize waste generated in the municipalities, including: making scratch pads from the back of printed paper without further use; making mugs and distributing them to all municipal employees, thus eliminating the use of disposable cups; introduce the mug as part of the school supplies distributed to students in the municipal network; replace paper towels, used in restrooms, with a hand dryer with a sensor; gradually replace traditional faucets with faucets with presence or time sensor; increase inspection in relation to the continuous cleaning of land located in the urban area of the municipality, as well as fine the owners in order to carry out the removal of debris from houses demolished totally or partially; establish a partnership with the Commercial and Industrial Association of each municipality, as well as with its traders, the manufacture of gratings to be placed below the manhole, avoiding the transport of solid waste, especially during rains, reducing the frequency of maintenance and cleaning of the same, according to Figure 2.

Figure 2: Smart culvert collector models.

Source: authors' collection (2022).

Reuse tires for making protectors for central beds of avenues, gardens or vegetable beds in municipal schools, city squares, as well as reuse in the construction of future health

squares and use in existing ones, painting them with leftover paints used to street and avenue signs, as well as those that may be donated by merchants or people from society itself, improving the city's landscape, as shown in Figure 3.

Figure 3: Examples of tire reuse in the landscape structure of cities.

Source: Authors' collection (2022).

Another reuse for tires is related to the manufacture of artistic objects and utensils for public or private use, which may involve professionals in the artistic area, artisans and even the creation of an association of people with artistic skills, generating employment and income for the families involved, attributing higher value instead of delivering it to companies for recycling, as shown in Figure 4.

Figure 4: Examples of different applications for reusing tires that would other wise be discarded.

Source: authors' collection (2022).

Only with these and other actions in relation to the reuse of tires, it is possible to attribute enormous market potential to the municipality, leading to the generation of resources, employment and income for several people and attracting even the foreign market that is already adept at using materials obtained from recyclables. Added to this, the possibility of creating a communication channel between the urban cleaning service and the community, in order to avoid that the central beds of avenues of the cities, become places of disposal of vegetal residues coming from Residential tree pruning, as shown in Figure 5.

Figure 5: Examples of tree pruning disposal in different locations.

Source: Authors' collection (2022).

In this sense, it is necessary to create a program to implement garbage baskets in all residences, both in the city and in its districts and villages. In cases where residents declare it does not have financial conditions, by proof, to pay the costs of the preparation and installation of the garbage basket, the City Hall could make and install through the payment to be credited to the IPTU of the posterior year or otherwise legal to finance the improvement to be paid by the resident in an easy way.

Figure 6: example of a place where garbage is disposed of in the central bed Source: Authors' collection (2022).

2.5 Within the scope of the legislative power of municipalities

The councilors will be able to present proposals and actions that will meet the implementation of a solid waste management program with subsequent approval and forwarding to the head of the executive power, a plan of measures to be implemented, such as: (*i*) demanding from the owners of land without improvements, the construction of walls and the total closure of land, preventing the undue release of garbage in these places, minimizing the proliferation of vectors of various diseases; (*ii*) present a bill in the form of a law, requiring the owners of commercial establishments that sell non-returnable bottled beverages, to start demanding from the consumer the delivery of the same amount of empty bottles at the time of purchase. Such bottles, along with paper, cardboard, cans, pet bottles, milk cartons and other materials will be collected by members of the collectors association; (*iii*) to order traders in the home appliance, cell and battery sector, among others (rich in toxic metals and others with high added value) that these establishments make the collection with subsequent destination to recyclable collectors.

3 I EXPECTED RESULTS

Based on the proposals presented, as well as their execution, it is expected to contribute to: (*i*) generation of employment and income for countless families that depend on the collection of recyclable materials; (*ii*) reduction of up to 80% of the garbage to be collected in the residences, which will imply in the reduction of garbage destined to “dumps, controlled and/or sanitary landfills”, increasing both the increase in the landfill’s lifetime and in the drastic reduction of pollution soil and, consequently, water resources; (*iii*) reduction of expenses with fuel and maintenance of vehicles destined to the provision of urban cleaning services, since the garbage collection can be carried out, a priori, three times a week and, a posteriori, reduced to twice a week; (*iv*) reduction in the number of employees who are hired to exclusively provide this service, and may be transferred to other sectors that lack manpower; (*v*) provide an effective environmental education for the whole society, involving them directly or indirectly in the responsibility for the generation of their waste; (*vi*) encourage the development of environmental education practices in schools from the initial grades of responsibility of the municipality; (*vii*) encourage the reuse of recyclable materials in homes; stimulate and encourage the creation of artistic and landscape objects from recyclable materials, which can generate another source of employment and income and (*viii*) reduce the number of vectors of diseases arising from poor solid waste management, resulting in a reduction in health expenses for this purpose goal.

4 I CONCLUSIONS

This work made it possible to present numerous problems in relation to the bad

management of solid waste that occurs in all municipalities, as well as a set of actions that can be adopted in the short, medium and long term in order to reduce costs with collection and final disposal of waste. Waste, public health spending and disposal in inappropriate areas or locations. Therefore, it is necessary to adopt the principle that investing in improvements in basic sanitation and in a strong policy of environmental education to be developed a priori in schools under the responsibility of the municipality and in partnerships with the state and a posteriori, in the entire community of the municipality with a view to improving the quality of life of the entire population and ensuring conditions so that other generations can live with quality of life generated by the environment in which it is inserted.

REFERENCES

ABNT – Brazilian Association of Technical Standards NBR 8419. **Presentation of urban waste sanitary landfill projects** – Procedure. 1987.

ABRLP – Brazilian Association of Public Cleaning and Special Waste Companies. **Overview of Solid Waste in Brazil**. Sao Paulo, 2015.

BENSEN, G.R.; JACOBI, P. R. Solid waste management in São Paulo: sustainability challenges. **Advanced Studies Magazine**, v. 25, no. 71, p. 135-158, 2011.

BNDES – **National Bank for Economic and Social Development** – Sector. Brazil, n. 40, p.43-92, 2014. Available at: https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/3041/1/Estimativa%20de%20investi mentos%20em%20aterros%20sanitarios_P.pdf

BRAGATO, P.; SILIPRANDI, E. M. DAGORT, M. E. Ecoponto/UTFPR – conscious disposal, recycling and reuse. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, no. 6, p. 56157-56164, 2021.

BRAZIL. (2016). Law no. 12,305, of August 2, 2010, **Establishes the National Policy on Solid Waste. Official Gazette of the Federative Republic of Brazil**, Executive Branch, Brasília-DF, 2 Aug. 2010. Retrieved on June 4, 2019, from http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm.

CAMPOS, R.; BORGA, T.; SARTOREL, A. Diagnosis of urban solid waste in the city of Iomerê/SC, through a quantitative and qualitative analysis. **Academic Geographic Magazine**, v. 11, p. 64-74, 2017.

DAMBROS, I.V.; CRUZ, S. F. O. **Solid waste management.** In: SCALOPPE, L A. E. (Org.) Regional Environmental Seminars, Cuiabá: KMC Editora, 2012.

FRACASSO, M. et al. Diagnosis and prognosis of MSW for the municipality of Sananduva/RS. **HOLOS**, v. 4, p. 282-298, 2017.

GALVÃO JÚNIOR, A. C.; BASILIO SOBRINHO, G.; SAMPAIO, C. C. **Information in the Context of Basic Sanitation Plans.** Fortaleza: Expressão Gráfica, 2010. 288p.

HESS, S. **Environmental Education: Us in the World**, 2nd ed. Campo Grande: Ed. UFMS, 2002, 192 p.

KONRAD, O; CALDERAN, T. B. **Environmental preservation in the view of national solid waste policy**. 2011.

LANGE, C. N. **Assessment of soil and groundwater contamination by potentially toxic elements in a vehicle collection yard. Case Study: Ribeirão Pires, SP**. 2018. 145p. Thesis (Doctorate in Science) – Nuclear Energy Research Institute – University of São Paulo, São Paulo, 2018.

MAKARA, C.N. et al. **Evaluation of soil contamination in a vehicle depot by metals in the city of Araucária**, 2014.

NASCIMENTO, S.S.; AGUIAR, D. R. C. Environmental education in the curriculum of the municipal school system in São Paulo/SP. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, no. 6, p. 54252-54263, 2021.

NOBRE, S.B. et al. Survey of solid waste generated in the municipality of Pau Dos Ferros, Rio Grande do Norte. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, no. 6, p. 54056-54075, 2021.

POLETO, C. **Introduction to environmental management**. Rio de Janeiro: Interciencia, 2010.

REVITT, D. M. et al., The sources, impact and management of car park runoff pollution: A review. **Journal Environmental Management**, v. 146, p. 552-567, 2014.

SOUSA, O.T.; CHAVES, I.R.; ALVIM, A. M. Recycling and solid waste management as possibilities for generating social, economic and environmental benefits. **Grifos Magazine**, n.38/39, p. 51-70, 2015.

SUESS, R.C.; BEZERRA, R.G.; CARVALHO SOBRINHO, H. Environmental Perception of Different Social Actors on Lake Abreu in Formosa—GO. **HOLOS**, no. 26, p.241-258, 2013.

VILHENA, A. **Integrated municipal waste management manual.** 4th Edition. São Paulo: CEMPRE, 2018.

VITAL, M.H.F.; INGOUVILLE, M.; PINTO, M. A. C. **Estimate of investments in sanitary landfills to meet the goals established by the National Solid Waste Policy between 2015 and 2019.**

CAPÍTULO 9

A IMPORTÂNCIA DE INVESTIMENTOS EM SEGURANÇA DA INFORMAÇÃO PARA AS OPERADORAS DE SERVIÇO DE SANEAMENTO: UM OLHAR SOB OS INCIDENTES DIVULGADOS

Data de aceite: 01/04/2022
Data de submissão: 23/02/2022

André Gambier Campos
Bacharel em Ciências Sociais pela Universidade de São Paulo (USP) e em Direito pela Pontifícia Universidade Católica de São Paulo (PUCSP), Mestre e Doutor em Sociologia pela USP. Técnico de Planejamento e Pesquisa do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA). Docente da Escola de Direito e Ciências Sociais da Universidade Positivo (EDCS/UP), pesquisador do Centro de Pesquisa Jurídica e Social (CPJus/UP), com foco na área de direito do trabalho
Brasília - DF
http://lattes.cnpq.br/4974657023940666

Carlos Henrique Jorge
Graduação em Análise e Desenvolvimento de Software pela Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR). Especialista em Redes e Segurança de Sistemas pela PUCPR. Mestrando em Computação Aplicada pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)
Curitiba - Paraná
http://lattes.cnpq.br/1168590081404267

Dalton Issao Ito
Bacharel em Ciência da Computação pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). Bacharel em Direito pelo Centro Universitário OPET. Especialista em Direito Digital pelo IBMEC, em Planejamento e Gestão de Negócios pela UNIFAE e em Direito de Família e Sucessões pela Universidade Anhanguera. Master Business Administration para *Data Protection Officer* pela IESB. Mestrando em Direito, Tecnologia e Desenvolvimento pela Universidade Positivo (UP)
Curitiba - Paraná
http://lattes.cnpq.br/4421914353219521

Mariana Espindola de Souza
Mestre em Meio Ambiente Urbano e Industrial pela UFPR e Engenheira Ambiental da Sanepar
Curitiba - Paraná
http://lattes.cnpq.br/0567162521455940

RESUMO: O objetivo deste trabalho é estudar os riscos da automação em plantas indústriais de saneamento e os riscos nos processos dessas empresas em um cenário de internet das coisas. Com o avanço da tecnologia e a convergência entre a Tecnologia da Informação (TI) e a Tecnologia Operacional (TO) plantas industriais, principalmente as relacionadas às infraestruturas críticas ganharam maior atenção, uma vez que permitem a automatização e um potencial aprimoramento de processos; a melhoria da gestão e da qualidade de serviços prestados em razão da geração de dados, sobre os quais é possível extrair decisões estratégicas. O avanço dos meios de comunicação tem permitido a quebra de paradigmas relativos à distância física entre as plantas industriais e os operadores, possibilitando muito mais do que a geração e o envio de dados, mas o controle remoto de estruturas complexas de operação, gerando forte preocupação com a segurança cibernética.

Com o acesso e a capacidade de controle de recursos industriais de forma remota exige planejamento e implementação de recursos de segurança adequados, principalmente em se tratando de infraestruturas críticas, com potencial de gerar danos de grandes proporções à sociedade, como o serviço de saneamento, com potencial de causar graves danos ao meio ambiente e à saúde da população. O investimento por empresas de saneamento e a regulamentação de melhores práticas por órgãos estatais competentes, passam a ganhar protagonismo neste ambiente.
PALAVRAS-CHAVE: Tratamento de Água e Esgoto, Crimes Cibernéticos, Riscos Cibernéticos, Internet das Coisas (IoT), Infraestruturas Críticas.

THE IMPORTANCE OF INVESTMENTS ON INFORMATION SECURITY FOR SANITATION SERVICE OPERATORS: AN ANALYSIS OF REPORTED INCIDENTS

ABSTRACT: The goal of this paper is to study the risks on the automation of the sanitation industries plants and the risks on the processes at these companies in a scenario of internet of the things. With the improve of technology and the convergence between Information Technology (IT) and Operational Technology (OT), industrial plants, especially those related to critical infrastructures, have gained greater attention, since they allow automation and a potential improvement of processes; the improvement of the management and quality of services provided due to the generation of data, on which it is possible to extract strategic decisions. The advancement of the means of communication has allowed the challenge of paradigms related to the physical distance between industrial plants and operators, allowing much more than the generation and sending of data, but the remote control of complex structures of operation, generating strong concern with cybersecurity. With access and the ability to control industrial resources remotely, it requires planning and implementation of adequate security resources, especially in the case of critical infrastructure, with the potential to generate large-scale damage to society, such as the sanitation service, with potential to cause serious damage to the environment and the health of the population. Investment by sanitation companies and the regulation of good practices by competent state regulation, start to gain prominence in this environment.
KEYWORDS: Water and Sewage Treatment, Cyber Crime, Cyber Risk, Internet of Things (IoT), Critical Infrastructure.

1 I INTRODUÇÃO

A água é essencial para o desenvolvimento do homem da agricultura e de toda cadeia produtiva e econômica, isto é, para o meio ambiente. De acordo com Omotayo e Telukdarie (2019), o consumo de água deve crescer duas vezes mais que o crescimento da população, e em 2025 estima-se que 2/3 da população global irá viver em áreas que exista escassez de água seja pelo alto consumo, seja pela quantidade de população e disponibilidade hídrica da região ou pelas mudanças climáticas.

Para conseguir acompanhar a demanda, as empresas buscam por melhor eficiência nos processos de tratamento juntamente com novas ferramentas e tecnologias, isto é, a

aplicação de tecnologias, que embarcam a indústria 4.0, internet das coisas e similares, aplicada ao saneamento, desta forma estas empresas tornam-se vulneráveis aos processos e riscos que utilizam.

Conforme Vitry et al. (2019), a digitalização pode criar novas vulnerabilidades se sensores, comunicadores e componentes de controle que formam a inteligência não forem implementados de forma adequada.

A digitalização dos processos diários tem sido cada vez maior nos últimos anos, empresas já nascem totalmente digitais, e em um mundo cada vez mais conectado, onde segundo estimativas, em 2020 existiam cerca de 50 bilhões de dispositivos conectados à internet (DAVIS, 2018), as empresas de infraestrutura crítica também se modernizaram, digitalizando e integrando a internet muitos processos que em um passado recente tinha uma execução apenas manual, analógica e isolada.

Neste contexto, a segurança cibernética vem ganhando relevância devido a este crescimento digital e também a incidentes de segurança sendo divulgados na grande mídia. Muitos destes incidentes têm como origem externa à organização impactada, que podem ser dissimulados ou assumidos e podem trazer impactos físicos ou não, que variam desde desfiguração de websites, perdas financeiras, parada de um serviço ou ainda a indisponibilização de uma infraestrutura crítica para o país (TAQUARY, 2019).

O objetivo deste artigo é expor a realidade dos eventos de segurança cibernética e segurança da informação aplicada a operadores de saneamento, que estão ocorrendo em outros países, e as ações recomendadas por entidades especializadas, tendo por objetivo a maior atenção e investimentos a fim de mitigar a possibilidade de ocorrência de eventos dessa natureza.

2 I MATERIAIS E MÉTODOS

A fim de cumprir os objetivos e justificativas propostas, foi realizado estudo de caso exploratório dos incidentes cibernéticos ocorridos em operadoras de saneamento, com uma pesquisa de abordagem mista e não experimental.

A partir da leitura e análise documental foram analisados os elementos essenciais para a elaboração de procedimentos internos, de modo a orientar e recomendar ao usuário as melhores práticas adotadas.

3 I A INDÚSTRIA BASEADA EM TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO

A evolução da indústria permitiu o desenvolvimento da sociedade, suprindo grande parte de suas necessidades garantindo produção de escala, redução de custos tornando produtos acessíveis a grande parte da população dentro de um nível adequado de qualidade. Tudo isso se deve em grande parte ao desenvolvimento da tecnologia e a sua

adequação aos processos.

Em um primeiro momento, o desenvolvimento da tecnologia foi baseada em equipamentos e maquinários, fundamentais para o desenvolvimento da própria humanidade como conhecemos hoje. Atualmente, vivenciamos uma etapa que passa quase despercebida por aqueles que não estão envolvidos diretamente com a tecnologia, a era da informação. Com o ganho de escala na cadeia de produção, cresceram os números de variáveis e informações com que os gestores passaram a lidar para tomadas de decisões estratégicas que garantam não apenas a continuidade no ganho de escala mas principalmente para a manutenção do funcionamento e do controle da cadeia de produção.

O desenvolvimento da sociedade em termos da tecnologia da informação, como é facilmente perceptível nos dias atuais, é decorrente do próprio desenvolvimento da tecnologia digital que presencia o surgimento, o desenvolvimento e a popularização de soluções capazes de coletar e processar informações que permeiam por todas as etapas de produção independente do setor em que esteja inserido, o que inclui o de saneamento.

As vantagens decorrentes da tecnologia da informação, por outro lado, podem ter criado outros problemas. As atuais tecnologias de água e inovações como *Big Data*, *IoT*, *Cloud Computer* e a automação do processo industrial criam grandes quantidades de dados, expondo a indústria aos crescentes riscos de segurança cibernética (SKIBA, 2020).

Além de uma infraestrutura corporativa com a arquitetura da Tecnologia da Informação (TI) tradicional e com foco nos dados e informações, as fornecedoras de água e esgoto contam com a tecnologia de automação (TA), que são compostos por sistemas físico-cibernéticos na produção de seus produtos finais, seja diretamente no tratamento de água e esgoto, ou então no monitoramento da distribuição e em alguns casos na medição do consumo.

O custo de infraestrutura, operação e manutenção de um sistema de fornecimento de água e esgoto é grande, na faixa de centenas de bilhões de dólares anualmente pelo mundo e com expectativa de continuar crescendo. A digitalização poderia não apenas aumentar a flexibilidade e eficiência do sistema, mas também permitir o fornecimento de novos serviços à sociedade (VITRY et al., 2019).

Por muitos anos os sistemas SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*) e a TA em geral foram isolados de redes corporativas e da internet, porém com o avanço da tecnologia, muitas organizações planejaram convergir as redes de TI e TA. Esta convergência tem por objetivo a redução de custos de manutenção, coleta e análise de dados integrada (HASSANZADEH et al., 2020). Nos últimos anos, a IoT direcionou o crescimento de sistemas físico-cibernéticos, liderando a convergência entre TI e TA. Este casamento melhora a performance, inovação e redução de custos, porém aumenta o número de vulnerabilidades e a superfície de ataques cibernéticos por atores maliciosos (COLELLI et al., 2019).

Quando novas tecnologias como Internet of Things (IoT) são integradas nas

infraestruturas críticas nacionais, novas ameaças cibernéticas surgem e que requerem soluções específicas de segurança (ANI et al., 2019). Os sistemas SCADA estão começando a ser conectados à internet, assim, sendo expostos às ameaças de segurança que podem parar sua operação normal. Há um crescente número de incidentes cibernéticos em diversas infraestruturas críticas, como consequência, pesquisadores estão focando em aumentar a segurança e a confiança operacional destes sistemas (PLIATSIOS et al., 2020). Uma vulnerabilidade em um sistema de controle industrial pode ter efeitos catastróficos se descoberto e subsequentemente explorado por um atacante, particularmente se este dispositivo é utilizado por uma infraestrutura crítica (THOMAS et al., 2020).

Diferente de outros setores que fazem parte da infraestrutura crítica de um país, as empresas de saneamento não possuem padrões e regulamentações para a utilização de tecnologia da informação e segurança cibernética no seu ambiente produtivo, além de ter um orçamento muito menor do que o setor elétrico, petroquímico ou bancário, e tem um impacto similar em caso de um incidente de segurança cibernético pela má utilização da tecnologia.

Conforme Vitry et al. (2019), os incidentes em empresas de saneamento podem não apenas levar a um roubo de dados dos clientes ou solicitações de resgates de dados, mas também podem afetar processos físicos no tratamento de água ou coleta de esgoto controlados remotamente. De acordo com Robles et al. (2015), há uma falta de integração entre as atuais soluções para o gerenciamento de plantas de fornecimento de água, os fornecedores de soluções utilizam diferentes padrões, métodos, modelos de dados e de comunicação para as suas soluções, o que aumenta muito a complexidade e o risco para o negócio.

A preocupação com a segurança da informação é uma constante e apresentada como um risco de ameaça crítica para o mundo, elencada no Relatório Riscos Globais publicado anualmente pelo Fórum Econômico Mundial (WEF, 2021). Neste, a segurança cibernética é citada como um problema corrente, de curto prazo (0-2 anos), enquanto que a infraestrutura de Tecnologia da Informação é um risco, com previsão de se tornar uma ameaça crítica para o mundo, de médio prazo (3-5 anos).

A previsão de riscos evidencia que ações que já deveriam ter sido tomadas por todas as empresas que utilizem tecnologia com utilização massiva de informações, assim como deve ser adotado como um padrão de preocupação a ser adotado em todos os projetos, tendo em vista a segurança cibernética e a infraestrutura de Tecnologia da Informação.

Nos últimos anos foi possível perceber alguns passos modestos pelo próprio Governo, no sentido de propor iniciativas que visam fomentar a segurança cibernética em sistemas críticos surgem no Brasil, como o Decreto nº 10.222, que aprova a Estratégia Nacional de Segurança Cibernética (BRASIL, 2020) da qual podemos citar o seguinte trecho: "*A proteção às infraestruturas críticas, por sua relevância, merece abordagem específica. No Brasil, essas organizações a serem protegidas, escopo desta Estratégia,*

são as pertencentes ao setor de Telecomunicações, ao setor de Transportes, ao setor de Energia, ao setor de Água e ao setor Financeiro."

Em 2018 os EUA criaram o *Cybersecurity and Infrastructure Security Agency* (CISA), com um orçamento anual de 3,1 bilhões de dólares (*US Department of Homeland Security*, 2020), a agência faz parte do departamento de segurança interna dos Estados Unidos e tem como foco alertar as infraestruturas críticas americanas sobre os riscos cibernéticos e melhores práticas, trabalhando com os setores público e privado (CISA, 2021).

Ainda nesse sentido, a União Europeia emitiu a Diretiva (UE) 2016/1148 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 6 de julho de 2016, relativa a medidas destinadas a garantir um elevado nível comum de segurança das redes e da informação em toda a União (UE, 2016), regulando questões relativas à segurança da informação e a segurança cibernética, indicando os Operadores de Serviços Essenciais, dentro dos quais foi incluído o fornecimento e distribuição de água potável.

Percebe-se uma clara demonstração de preocupação de governos com certas áreas de infraestrutura estratégicas, das quais merece atenção o setor de águas, de cuja relevância tem sido cada vez mais percebida pelas alterações ambientais, gerando repercussões econômicas na indústria e agricultura, mas principalmente na vida das pessoas, uma vez que se trata de um recurso que, quando escasso compromete a própria sobrevivência da humanidade.

4 I INFRAESTRUTURA CRÍTICA E OS ATAQUES SEM FRONTEIRAS

Com o avanço da tecnologia, cada vez menos a ação física e a distância deixaram de ser fatores relevantes para atingir sistemas estratégicos de um Estado e a sua população, capazes de causar grande impacto. Frances Robles e Nicole Perlroth descreveram uma série histórica de eventos que corroboram com tal constatação.

> Ataques à infraestrutura crítica datam de pelo menos 2007, quando os Estados Unidos e Israel realizaram um ataque conjunto à instalação nuclear iraniana de Natanz que destruiu cerca de 1.000 centrífugas de urânio. Nos anos que se seguiram a esse ataque, conhecido como Stuxnet, a infraestrutura crítica se tornou um alvo mais frequente para hackers.
>
> No início de 2012, os hackers russos começaram a realizar sondagens em empresas americanas de energia e concessionárias de eletricidade. Três anos depois, em 2015, eles usaram um acesso semelhante, em empresas de serviços públicos da Ucrânia para desligar a energia por várias horas na Ucrânia Ocidental e novamente um ano depois na capital da Ucrânia, Kiev.
>
> Em 2017, os hackers russos chegaram a acessar uma usina americana ao nível de manipular alguns controles, cessando suas ações um passo antes da sabotagem. No mesmo ano, hackers na Rússia foram pegos desmontando as travas de segurança em uma instalação petroquímica saudita, que são responsáveis por evitar incidentes catastróficos de grandes proporções como explosões.

> Nos últimos anos, os Estados Unidos realizaram seus próprios ataques cibernéticos contra a Rússia, com uma série de ações à rede elétrica desse país, o que os especialistas em segurança cibernética compararam ao equivalente digital da destruição mutuamente assegurada.
>
> Outros países também vem testando os sistemas americanos. Em 2013, hackers iranianos foram pegos invadindo uma pequena barragem em Nova York. Inicialmente, o temor das autoridades era o de que os hackers estivessem atacando uma barragem muito maior, a de Arthur R. Bowman, no Oregon, onde um ataque cibernético que viesse a comprometer as suas eclusas poderia causar uma calamidade. Todavia, os investigadores descobriram que os hackers estavam dentro da barragem muito menor, da Bowman Avenue, a 30 milhas ao norte de Manhattan.
>
> São os ataques a esses sistemas municipais menores, como a barragem da Bowman Avenue e a estação de tratamento de água em Oldsmar, que os especialistas em segurança cibernética dizem que mais temem. Embora as grandes empresas de serviços públicos geralmente tenham proteções complexas, as empresas menores de abastecimento de água, os fornecedores de energia elétrica e os fabricantes geralmente não têm.
>
> (ROBLES e PERLROTH, 2021, tradução livre).

Em razão dos diversos ataques cibernéticos de alto perfil, em que empresas americanas vem sofrendo, em julho de 2021, o presidente dos Estados Unidos, Joseph Biden, assinou um memorando de segurança nacional na quarta-feira, lançando uma nova iniciativa público-privada que cria “controles de desempenho” para a segurança cibernética nas empresas mais críticas da América, incluindo tratamento de água e usinas de energia elétrica. (BING, BOSE, 2021).

Ao mesmo tempo em que a tecnologia garante maior facilidade de acesso, facilitando o desenvolvimento de atividades e operações em infraestruturas críticas, as seguranças da informação e cibernética deverão ser o custo a ser cobrado. Como visto, tal facilidade é uma via de mão dupla que viabiliza também àqueles que buscam o crime dentro de um meio em que, cada vez mais, a distância física deixa de ser um fator impeditivo.

Assim como plantas americanas podem ser alvos de *hackers*, pessoas mal intencionadas ou até mesmo adolescentes com acesso à recursos tecnológicos, com o avanço dos meios de comunicação, o alvo da ação criminosa assim como o próprio criminoso, podem estar localizados em qualquer posição do globo, inclusive no Brasil.

5 I INCIDENTES DE CIBERSEGURANÇA NO SETOR DE SANEAMENTO

Como bastante debatido, uma série de ataques cibernéticos no setor de infraestrutura crítica tem sido observado mundo afora, gerando enormes prejuízos de diversas naturezas não apenas para as empresas, mas também para a sociedade em geral.

As empresas naturalmente serão afetadas não apenas financeiramente, mas a depender das dimensões do ataque, com profundos abalos à imagem e à sua reputação.

Ao mesmo tempo, a população sofrerá com a indisponibilidade do serviço que, a depender do setor, como a de energia e de saneamento, poderá sofrer prejuízos e transtornos irreversíveis.

A seguir serão elencados uma série histórica de eventos que afetaram diretamente o setor de saneamento, com danos ocorridos em maior ou menor proporção, mas que expõem vulnerabilidades à infraestrutura em cenários cujo impacto poderia ser muito maior se os criminosos assim desejassem.

5.1 Maroochy Water Services, Australia, 2000

Maroochy Shire foi o primeiro incidente cibernético registrado em uma instalação de infraestrutura crítica. Essa intrusão causou o despejo de 800 mil litros de esgoto em rios, parques e um hotel da região (HASSANZADEH, 2020).

O crime ocorreu entre 9 de fevereiro de 2000 e 23 de abril de 2000, quando um ex-prestador de serviços, que participou do projeto de implantação do sistema supervisório SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*), acessou computadores que controlam o sistema de esgoto de *Maroochy Shire Council*, alterando parâmetros de sistema em particular das estações de bombeamento de esgoto causando mau funcionamento em suas operações como:

- As bombas passaram a apresentar problemas de funcionamento;
- Os alarmes não reportavam ao computador central; e
- Houve a perda de comunicação entre o computador central e as estações de bombeamento.

As consequências desse evento resultaram no comprometimento da vida aquática local, uma vez que a água se tornou totalmente poluída e o cheiro insuportável. (ABRAMS, WEISS, 2021).

5.2 Pennsylvania Water Filtering Plant, EUA, 2006

O FBI descobriu que através de um notebook infectado de um empregado, foi instalado um software malicioso em computadores de uma planta industrial. As investigações concluíram que a planta não era o alvo principal, os hackers estariam usando estes computadores para enviar e-mails para outros alvos, porém este ataque poderia alterar os níveis de produtos químicos da planta (HASSANZADEH, 2020).

Se a violação tivesse como alvo a estação de tratamento de água, as consequências poderiam ter sido muito graves, de acordo com Mike Snyder, coordenador de segurança da seção da Pensilvânia da *American Water Works Association*. Segundo o qual os criminosos poderiam ter agido com o objetivo de aumentar o nível de cloro injetado na água, tornando a água perigosa para o consumo humano. (MCMILLAN, 2006).

5.3 Springfield, Illinois, EUA, 2011

Uma bomba em um serviço público de água em Springfield, Illinois, foi recentemente destruída depois que ciberataques obtiveram acesso a um sistema SCADA que controla o referido dispositivo. A bomba queimou depois que o sistema SCADA que a controlava começou a desligar e ligar intermitentemente.

Acredita-se que os invasores tenham obtido os nomes de usuário e as senhas do sistema invadindo primeiro um computador pertencente ao fornecedor do software SCADA que controlava a planta. Os fornecedores de SCADA costumam manter uma lista de nomes de usuários e senhas para acessar os sistemas implantados dos clientes para fins de suporte. (VIJAYAN, 2011).

A notícia do ataque chegou poucas semanas após a descoberta do Trojan Duqu, projetado especificamente para roubar informações de fornecedores de sistemas SCADA. Os fornecedores de segurança acreditam que o malware estava sendo usado para coletar informações para que os hackers pudessem criar outro worm parecido com o Stuxnet, como o usado para interromper as operações na instalação nuclear iraniana de Natanz em anos anteriores a este evento. Quando o Duqu foi descoberto, alguns especialistas em segurança do sistema de controle temeram que ele pudesse ser usado para roubar credenciais de login de clientes de fornecedores de SCADA (VIJAYAN, 2011).

Softwares que controlam recursos industriais e de utilidades, como energia elétrica, água e usinas de energia, são chamados de “SCADA” ou (Supervisory Control And Data Acquisition ou “Sistemas de Supervisão e Aquisição de Dados”). Tais sistemas são vulneráveis porque raramente recebem atualizações, por controlarem sistemas críticos, empresas evitam interferir com o seu funcionamento (ROHR, 2011).

5.4 Key Largo Wastewater Treatment District, EUA, 2012

Em 2012, o ex-diretor financeiro da companhia, Sal Zappulla, acessou ilegalmente os computadores da Key Largo Wastewater Treatment District e baixou e-mails e outras informações utilizando a credencial de outro funcionário. Ele foi processado e acusado por acesso ilegal de computador e tentativa de fraudar, modificar e excluir informações da companhia (HASSANZADEH, 2020).

Zappulla se gabou de ter conseguido provar que os computadores do distrito de tratamento de águas residuais não eram seguros (JONES, 2021).

5.5 An European Water Utility, 2018

Em janeiro de 2018, a empresa Radiflow detectou um tráfego suspeito na rede SCADA de uma companhia de água da Europa. Uma série de conexões para endereços de internet foram detectadas, porém os analistas verificaram que não eram sites maliciosos. Uma investigação posterior revelou que os endereços pertenciam a um grupo de mineração

de criptomoedas. Após esta investigação, foi detectado que havia um malware na rede TO da companhia, a qual consumia 40% do tráfego total de dados da rede para a mineração de criptomoedas. Não foi encontrada nenhuma tentativa de manipulação das configurações do CLP (HASSANZADEH, 2020).

5.6 Israeli National Cyber-Directorate, Israel, 2020

O governo de Israel informou que companhias de água foram alvos de ataques cibernéticos e solicitou que as companhias trocassem imediatamente todas as senhas de seus sistemas, caso não fosse possível a alteração da senha, os sistemas deveriam ser desativados.

Foi o caso de um "ataque sincronizado e organizado" à infraestrutura civil tendo como objetivo interromper os computadores industriais que sustentam as instalações de água israelenses. (LYNGASS, 2020).

Se o ataque tivesse sido bem-sucedido, ele poderia ter causado danos significativos ao abastecimento de água aos civis. Ele também sugeriu que o hacker tinha como alvo o fluxo de cloro nas unidades de tratamento de água, o que poderia ser prejudicial à saúde pública (MARQUARDT, LEVENSON e TAL, 2021).

5.7 Oldsmar's Water Treatment System, EUA, 2021

Trata-se de incidente ocorrido na Flórida, nos Estados Unidos em 2021 no qual um hacker acessou remotamente um sistema SCADA e efetuando a alteração do nível de NaOH (hidróxido de sódio) de 100 ppm para 11000 ppm.

Não se trata de margens controladas de cloro ou de flúor, mas de níveis perigosos de soda cáustica que poderiam ter chegado às torneiras de milhares de pessoas causando graves danos à saúde da população. No caso em discussão, o invasor realizou uma tentativa de envenenamento de um sistema de abastecimento de água, por meio de uma plataforma de software de acesso remoto que encontra-se inativa há meses.

Não pode ser considerado um ataque cibernético particularmente sofisticado, uma vez que fez uso de uma ferramenta de acesso remoto chamado TeamViewer. Uma plataforma que já não estava mais sendo usada a cerca de seis meses antes do ataque ocorrer (MARQUARDT, LEVENSON, TAL, 2021).

Para especialistas em segurança cibernética, o culpado poderia facilmente ser adolescentes entediados, um funcionário insatisfeito, um estado-nação ou empreiteiros fazendo suas licitações. (ROBLES e PERLROTH, 2021),

As autoridades disseram que a trama se desenrolou quando um funcionário percebeu que alguém estava controlando seu computador. Ele inicialmente ignorou porque a planta tem um software que permite aos supervisores acessar os computadores remotamente. Mas horas depois, o funcionário percebeu que diferentes programas estavam sendo abertos e que o nível de soda cáustica mudou. A intrusão durou entre três e cinco minutos

(ROBLES e PERLROTH, 2021).

Embora a ação do hacker tenha sido impedido antes que pudesse chegar ao abastecimento de água potável, o cenário - um ataque cibernético a uma estação de tratamento de água que contamina a água de uma cidade - há muito é temido por especialistas em segurança cibernética. Em todo o país, os operadores de usinas de água, além daqueles em barragens e oleodutos e gasodutos, aceleraram a transformação para sistemas digitais que permitem que engenheiros e empreiteiros monitorem temperatura, pressão e níveis químicos de estações de trabalho remotas (ROBLES e PERLROTH, 2021).

5.8 Belle Vernon Water Treatment System, EUA, 2021

Refere-se à investigação realizada pelo FBI em razão de múltiplas tentativas de invasão ao sistema de distribuição de água de Belle Vernon na Pensilvânia. O caso ocorreu logo após o evento de Oldsmar´s na Flórida. Segundo informações da *Pennsylvania Water Action Response Network*, um grupo de agências municipais de água, dois sistemas foram vítimas das invasões cibernéticas, por meio de acesso e controle remoto. Felizmente os ataques foram detectados e a ação dos criminosos impedida.

Apesar de a Comissão de Serviços Públicos do estado passar a exigir que grandes concessionárias façam planos anuais de segurança cibernética, tal obrigação não se aplica a muitos sistemas municipais menores (OSDOL, 2021).

Scott Christensen, especialista em segurança cibernética da GrayMatter Systems, com sede em Warrendale, uma empresa que trabalha com serviços públicos, disse que o número de tentativas de hackers está aumentando (OSDOL, 2021).

6 I RECOMENDAÇÕES E MELHORES PRÁTICAS

De acordo com o exposto, fica evidenciada a atenção necessária às questões de segurança da informação e segurança cibernética, em todas as áreas, desde indústria, comércio e serviços, até mesmo no setor governamental. Ainda que seja um assunto com certo teor de novidade no Brasil, tem sido bastante debatido, com regulamentações que se encontram em fase de aprimoramento.

No setor de saneamento, setores específicos no território americano a tempos têm voltado suas atenções para o tema, vide a recorrência de eventos que atingem operadores de serviço de saneamento exemplificado neste estudo, emitindo orientações e melhores práticas a serem adotadas por tais operadoras.

O primeiro modelo refere-se à *Water ISAC* (Centro de Análise e Compartilhamento de Informações sobre Água) que é um órgão americano, formado pelas principais associações nacionais e fundações de pesquisa do setor de água e esgoto dos EUA. Em suas orientações, destacamos os fundamentos a serem implementados, e com as quais pretende-se mitigar riscos de possíveis ataques a seus sistemas. Os 15 fundamentos são:

1. Realizar inventário de ativos;

2. Avaliar os riscos;

3. Minimizar a exposição do sistema de controle;

4. Aplicar controles de acesso do usuário;

5. Proteção contra acesso físico não autorizado;

6. Instalar sistemas independentes de segurança física cibernética;

7. Implementar a gestão de vulnerabilidades;

8. Criar uma cultura de segurança cibernética;

9. Desenvolver e aplicar políticas e procedimentos de segurança cibernética (Governança);

10. Implementar a detecção e o monitoramento de ameaças;

11. Plano para incidentes, emergências e desastres;

12. Lidar com ameaças internas;

13. Proteja a cadeia de suprimentos;

14. Aborde todos os dispositivos inteligentes (*IoT, IIoT, Mobile*, etc.); e

15. Participe de Comunidades de Compartilhamento e Colaboração de Informações.

(WATER ISAC, 2019)

https://www.waterisac.org/system/files/articles/15%20Cybersecurity%20Fundamentals%20%28WaterISAC%29.pdf

Outro exemplo de modelo a ser seguido refere-se ao sugerido pela EPA (*United States Environmental Protection Agency*) a qual desenvolveu recomendações para um programa de segurança cibernética, direcionado às empresas do setor de saneamento, as quais são elencadas abaixo.

1. Auditar sistemas de TI e identificar vulnerabilidades;

2. Manter uma lista dos maiores riscos de segurança cibernética e como eles serão abordados;

3. Assegurar que todos os sistemas de TI estejam atualizados com software antivírus e anti-malware;

4. Atualização mensal de patches de segurança em todos os sistemas de TI;

5. Implementar práticas seguras de acesso remoto;

6. Segregar as redes e controlar o acesso a redes baseadas nas atribuições do setor da empresa;

7. Monitorar atividades suspeitas na rede e estar preparado para responder se for detectado;

8. Estabelecer políticas de senhas fortes;

9. Considere uma lista de aplicações homologadas em sistemas críticos (permitir a execução apenas daqueles aprovados);

10. Melhorar a segurança física dos equipamentos de TI;

11. Segregar a empresa por área de negócio e sistemas de controle de processo, e exija credenciais de acesso para cada um;

12. Estabelecer políticas seguras para dispositivos móveis;

13. Desenvolver um plano de contingência e de recuperação para sistemas críticos de TI;

14. Desenvolver e testar Procedimentos Operacionais Padrões para o caso de comprometimento dos sistemas de controle;

15. Implementar redundâncias em seu sistema para evitar interrupções de serviço; e

16. Ministrar cursos em segurança cibernética para empregados e terceiros.

(EPA, 2021)

https://www.epa.gov/sites/default/files/2018-06/documents/cybersecurity_guide_for_states_final_0.pdf

Apesar de entidades distintas, os objetivos são os mesmos, tentar evitar que ataques sejam evitados ou pelo menos mitigados. Por essa razão as sugestões, quando olhadas sob a ótica global, possuem características convergentes.

Isso não significa que a implementação de um ou outro modelo será capaz de evitar a ação de hackers, ou outros agentes mal intencionados de mesma natureza, que pretendam explorar vulnerabilidade e comprometer a operação. O que se pretende é garantir uma segurança ao maior nível possível, dentro dos recursos disponíveis; em um primeiro momento, evitando possíveis vulnerabilidades pela simples falta de procedimentos adequados, e posteriormente pela implementação de recursos cada vez mais avançados que garantam níveis cada vez mais elevados de segurança.

O limite irá depender de vários fatores dentro da decisão estratégica de cada organização, uma vez que cada operadora de saneamento possui níveis de maturidade e estruturas de negócio, operação, tecnologia entre tantas outras, distintas umas das outras. Todos os fatores devem ser avaliados e associados ao apetite ao risco que se pretende aceitar a fim de dimensionar o nível de investimento necessário.

O fato é que infraestruturas críticas de saneamento tem por objeto recursos estratégicos como o esgoto, capaz de gerar impactos ambientais de grandes dimensões e a água é um bem essencial à vida humana.

7 I CONSIDERAÇOES FINAIS

Ainda que os governos tenham percebido a grave consequência de incidentes

decorrentes de segurança da informação, principalmente as do Estados Unidos e os dos países que compõem a União Europeia, conforme regulamentações citadas anteriormente, o Brasil, devido a diversos fatores, encontra-se incipiente tanto quanto a efetivação da segurança da informação, quanto às regulamentações e sanções aplicáveis. Tal constatação, no entanto, não exime a responsabilidade do poder público e entidades privadas atuantes em todos os setores da economia, em especial para o setor de infraestrutura crítica, como o de saneamento ambiental, energia e transporte, os quais devem tomar as ações necessárias para que incidentes dessa natureza não afetem a prestação de serviços.

Não existe sistema de segurança de informação totalmente imune a qualquer incidente de violação, o que existe é o apetite ao risco aceito pela corporação, dentro de uma relação entre a capacidade de investimento e o nível de proteção possível com os recursos disponíveis. Caberá ao setor responsável pela segurança da informação dimensionar a quantidade de recursos possível a fim de garantir um nível de proteção que permita à empresa administrar o risco aceito em uma área tão relevante como a de saneamento.

Por isso, é de suma importância que as operadoras de saneamento construam uma visão adequada de seus processos e riscos que permita avaliar o nível de segurança necessário. Somente assim será possível elaborar um planejamento dimensionado de forma adequada, com investimentos necessários para evitar os possíveis incidentes e mitigar os efeitos e danos daqueles que eventualmente possam ocorrer.

REFERÊNCIAS

ABRAMS, Marshall D.; **WEISS**, Joe. *Malicious Control System Cyber Security Attack Case Study - Maroochy Water Services*. Australia. Agosto/2008. Disponível em: <https://www.mitre.org/publications/technical-papers/malicious-control-system-cyber-security-attack-case-study-maroochy-water-services-australia>. Acesso em 21/08/2021.

ANI, U. D. et al. A review of critical infrastructure protection approaches: Improving security through responsiveness to the dynamic modelling landscape. In: IET Conference Publications. [s.l.]: [s.n.], 2019**.** doi: 10.1049/cp.2019.0131.

BING, Christopher; **BOSE**, Nandita. A Casa Branca pede às empresas mais importantes da América que melhorem as defesas cibernéticas. 28/06/2021. Disponível em: <https://www.reuters.com/world/us/white-house-calls-americas-most-critical-companies-improve-cyber-defenses-2021-07-28/>. Acesso em 21/08/2021.

BRASIL. Decreto nº 10.222, de 5 de Fevereiro de 2020. Estratégia Nacional de Segurança da Informação. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2020/Decreto/D10222.htm>. Acesso em Maio de 2021.

CISA. About CISA. 2021. Disponível em: <https://www.cisa.gov/about-cisa> Acesso em Maio de 2021.

COLELLI, R. et al. An opacity approach for security exposure of IoT components in critical infrastructures. In: Conference Proceedings - IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics. [s.l.]: [s.n.], 2019. DOI: 10.1109/SMC.2019.8914291.

DAVIS, G. “2020: *Life with 50 billion connected devices,” 2018 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE)*, Las Vegas, NV, USA, 2018, pp. 1-1, doi: 10.1109/ICCE.2018.8326056.

DE VITRY, M.M. et al. *Smart urban water systems: what could possibly go wrong? Environmental Research Letters.* 2019, Vol. 14, nº 8. doi: 14 081001

EPA, *United States Environmental Protection Agency. EPA Cybersecurity Best Practices for the Water Sector.* Disponível em: <https://www.epa.gov/waterriskassessment/epa-cybersecurity-best-practices-water-sector>. Acessado em: 21/08/2021.

GONÇALVES, R.; SOARES, J. M. J.; LIMA, M. F. R. “An IoT-Based Framework for Smart Water Supply Systems Management.” Future Internet 2020, 12, 114. https://doi.org/10.3390/fi12070114.

HASSANZADEH, A., **RASEKH**, A., **GALELLI**, S., **AGHASHAHI**, M., **TAORMINA**, R., **OSTFELD**, A., & **Banks**, M. K. (2020). *A Review of Cybersecurity Incidents in the Water Sector. Journal of Environmental Engineering* (United States), 146(5), [03120003].

JONES, Miriam. *Report: Hacking Lands Florida Wastewater Official in Hot Water*. 26/03/2012. Disponível em: <https://www.govtech.com/public-safety/report-hacking-lands-florida-wastewater-official-in-hot-water.html>. Acesso em: 21/08/2021.

LYNGAAS, Sean. *Israeli official confirms attempted cyberattack on water systems*. 28/05/2020. Disponível em: <https://www.cyberscoop.com/israel-cyberattacks-water-iran-yigal-unna/>. Acesso em: 21/08/2021.

MARQUARDT, Alex; **LEVENSON**, Eric; **TAL**, Amir. *Florida water treatment facility hack used a dormant remote access software, sheriff says*. 10/02/2021. Disponível em: <https://edition.cnn.com/2021/02/10/us/florida-water-poison-cyber/index.html>. Acesso em 21/08/2021.

MCMILLAN, Robert. *Hackers break into water system network*. 31/08/2006. Disponível em: <https://www.computerworld.com/article/2547938/hackers-break-into-water-system-network.html>. Acesso em 21/08/2021.

OMOTAYO, A.; **TELUKDARIE**, A. (2019). *Industry 4.0: Innovative Solutions for the water industry. International Annual Conference of the American Society for Engineering Management*; Huntsville, AL, USA, 2019.

OSDOL, Paul Van. *FBI investigating hacking threats at Pennsylvania water systems*. 10/05/2021. Disponivel em: <https://www.wtae.com/article/fbi-investigating-hacking-threats-at-pennsylvania-water-systems/36386504>. Acesso em 21/08/2021.

PLIATSIOS, D. et al. A Survey on SCADA Systems: Secure Protocols, Incidents, Threats and Tactics. IEEE Communications Surveys and Tutorials, [s.l.], v. 22, no 3, p. 1942–1976, 2020. doi: 10.1109/COMST.2020.2987688.

ROBLES, T. et al. “*An IoT based reference architecture for smart water management processes.” J. Wirel. Mob. Networks Ubiquitous Comput*. Dependable Appl. 6 (2015): 4-23.

ROBLES, Frances; **PERLROTH**, Nicole. ‘*Dangerous Stuff’: Hackers Tried to Poison Water Supply of Florida Town*. 08/02/2021. Disponível em: <https://www.nytimes.com/2021/02/08/us/oldsmar-florida-water-supply-hack.html>. Acesso em 21/08/2021

ROHR, Altieres. Hacker teria destruído bomba hidráulica após invadir sistema. 21/11/2011. Disponível em: <http://g1.globo.com/tecnologia/noticia/2011/11/hacker-teria-destruido-bomba-hidraulica-apos-invadir-sistema.html>. Acesso em 2/08/2021.

SKIBA, R. *Water Industry Cyber Security Human Resources and Training Needs, International Journal of Engineering Management.* Vol. 4, No. 1, 2020, pp. 11-16. doi: 10.11648/j.ijem.20200401.12.

TAQUARY, C. B. "A defesa cibernética em ambientes de infraestrutura crítica e os riscos dos ataques cibernéticos". Escola Superior de Guerra, Brasília, DF, Brasil, 2019.

THOMAS, R. J. et al. Catch Me if You Can: An In-Depth Study of CVE Discovery Time and Inconsistencies for Managing Risks in Critical Infrastructures. In: CPSIOTSEC 2020 - Proceedings of the 2020 Joint Workshop on CPS and IoT Security and Privacy. [s.l.]: [s.n.], 2020. DOI: 10.1145/3411498.3419970.

UE. Diretiva (UE) 2016/1148 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 6 de julho de 2016, relativa a medidas destinadas a garantir um elevado nível comum de segurança das redes e da informação em toda a União. 2016. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=CELEX:32016L1148>. Acesso em Julho de 2021.

US Department of Homeland Security. Budget-in-Brief. Fiscal Year 2020. p46. Disponível em: <https://www.dhs.gov/sites/default/files/publications/19_0318_MGMT_FY-2020-Budget-In-Brief.pdf> Acesso em Maio de 2021.

VIJAYAN, Jaikumar. *Apparent cyberattack destroys pump at Ill. water utility*. 18/11/2011. Disponível em: <https://www.computerworld.com/article/2497351/apparent-cyberattack-destroys-pump-at-ill--water-utility.html>. Acesso em 21/08/2021.

WATER ISAC. *15 Cybersecurity Fundamentals for Water and Wastewater Utilities*. 03/06/2019. Disponível em: <https://www.waterisac.org/fundamentals>. Acesso em 21/08/2021.

WEF. "*The Global Risks. Report 2021 16th Edition*". Disponível em: <http://www3.weforum.org/docs/WEF_The_Global_Risks_Report_2021.pdf>. Acesso em Junho de 2021.

CAPÍTULO 10

AQUACAD-PLUGIN: SIMULAÇÕES HIDRÁULICAS NO AUTOCAD

Data de aceite: 01/04/2022
Data de submissão: 18/02/2022

Luis Henrique Magalhães Costa
Universidade Estadual Vale do Acaraú
Sobral - CE
http://lattes.cnpq.br/5710487391407826

Arthur Brito Gomes
Universidade Estadual Vale do Acaraú
Sobral - CE
http://lattes.cnpq.br/8724659793578785

Letícia de Vasconcelos Rodrigues
Universidade Estadual Vale do Acaraú
Sobral - CE
http://lattes.cnpq.br/1162539151897628

David Ermerson Farias Eugênio
Serviço Autônomo de Água e Esgoto – SAAE
Sobral -CE
http://lattes.cnpq.br/1932179772266727

RESUMO: O EPANET é o simulador hidráulico mais utilizado no mundo. No desenvolvimento de projetos na área de saneamento é muito comum o uso do software AutoCAD para a elaboração de desenhos, detalhamentos dos elementos hidráulicos, dentre outros. No intuito de facilitar a compatibilidade entre esses dois programas, podem ser encontrados utilitários que fazem a conversão entre arquivos do EPANET(.INP) para o formato do AutoCAD(.DXF), como, por exemplo, o AQUACAD (versão web) e o EPACAD. O objetivo deste trabalho é apresentar um plugin para o AutoCAD que possibilita a construção de um modelo de sistema de abastecimento de água e a realização de simulações hidráulicas sem a necessidade do uso do EPANET. Dessa forma, o projetista pode realizar diferentes análises hidráulicas, dentro do ambiente do AutoCAD, aumentando sua produtividade e agilidade na construção dos modelos, tendo em vista a possibilidade do uso de comandos como, por exemplo, o “zoom” e o “pan”. Além da possibilidade de simulação, também é possível fazer a importação e a exportação para o formato .INP do EPANET. O plugin apresentado neste trabalho pode ser obtido em www.aquacad.net.

PALAVRAS-CHAVE: EPANET, AUTOCAD, PLUGIN.

AQUACAD-PLUGIN: HYDRAULIC SIMULATIONS IN AUTOCAD

ABSTRACT: EPANET is the most used hydraulic simulator in the world. In the development of projects in the field of wastewater treatment and management, it is very common to use AutoCAD software for project design, detailing of the hydraulic elements, among others. To make compatibility easier between these two programs, applications that convert between EPANET (.INP) and AutoCAD (.DXF) files can be found, such as, for example, AQUACAD (web version) and EPACAD. The goal of this work is to present a plugin for AutoCAD that allows to model a water supply system and to perform hydraulic simulations without the need to use EPANET. Thus, a project designer can perform different hydraulic analyses, within the AutoCAD

environment, increasing their productivity and agility in the construction of models, considering the possibility of using commands such as, for example, “zoom” and “pan”. In addition to simulations, it is also possible to import and export to EPANET’s .INP format. The plugin presented in this work can be obtained from www.aquacad.net.
KEYWORDS: EPANET, AUTOCAD, PLUGIN.

1 | INTRODUÇÃO

A água é um recurso essencial para a existência e sobrevivência de todos os seres vivos e o seu fácil acesso para o consumo é um direito fundamental. Para isso, são desenvolvidos sistemas de abastecimento e distribuição de água, submetidas a um criterioso dimensionamento, para que opere sem falhas conforme normas técnicas, objetivando uma perfeita funcionalidade do sistema.

Com o avanço da tecnologia, muitos softwares foram desenvolvidos para colaborar na análise de sistemas de distribuição de água, executando os cálculos das simulações hidráulicas. Nesse contexto, destacam-se os aplicativos em desktop, a exemplo do EPANET, programa desenvolvido pela U. S. Environmental Protection Agency (USEPA).

No EPANET, a execução de simulações hidráulicas é de grande importância na concepção de projetos de redes de distribuição de água. Mas o processo de composição de traçado implica em atividades repetitivas e que demandam esforço por parte do projetista, considerando-se a quantidade extensa de dados de entrada que o software demanda. Esse cenário, além de demorado, aumenta o risco de erros no projeto (SILVEIRA NETO; BEZERRA; ARAÚJO, 2019).

A realização deste trabalho propõe a implementação de um plugin que integra os algoritmos numéricos do EPANET ao AutoCAD, a fim de aprimorar o desempenho nas análises de sistema de abastecimento de água (SAA). Essa ferramenta permite, dentro do ambiente do AutoCAD, criar e simular modelos de SAA. Com a instalação do plugin no ambiente do AutocAD, é possível fazer a inserção de elementos hidráulicos como trechos, reservatórios, bombas, válvulas e junções possibilitando a alteração das propriedades, de acordo com as necessidades do usuário, de forma semelhante à interface do simulador EPANET.

Para Castro (2004), o sucesso dos programas computacionais ocorreu devido ao aumento da quantidade de ferramentas presentes no mercado. Visando as limitações gráficas do EPANET, com o uso do plugin apresentado neste trabalho, é possível reduzir o tempo de elaboração de um modelo de um SAA e limitar a um único ambiente de desenvolvimento, o AutoCAD que, por sua vez, dispõe de várias ferramentas gráficas.

O plugin apresentado neste trabalho, faz uso da linguagem C# .NET que por sua vez, é uma linguagem mais robusta comparada a linguagem AutoLisp, permitindo além dos processos de importação e exportação supracitados, a realização de simulações hidráulicas dentro do ambiente do AutoCAD, por meio da API do EPANET toolkit.lib. Atualmente, as

simulações realizadas pelo plugin são do tipo estática, não sendo possível, na versão atual, realizar simulações dinâmicas.

2 I OBJETIVO

Desenvolver um plugin para o AutoCAD que permita a criação e simulação de sistemas de abastecimento de água, em apenas um ambiente de desenvolvimento, minimizando o tempo demandado, facilitando a entrada de dados e a criação dos traçados da rede. Também é possível realizar a conversão do arquivo DXF para INP, e vice-versa, possibilitando que o usuário migre entre o EPANET e o AutoCAD a qualquer momento, de acordo com suas necessidades.

3 I MATERIAIS E MÉTODOS

Para o início do projeto foi necessária uma análise das ferramentas preexistentes disponíveis que possibilitasse a nova abordagem de simulações hidráulicas dentro do ambiente AutoCAD, objetivo principal deste trabalho.

Sendo assim, para o desenvolvimento, foi utilizado a linguagem C# por ser mais robusta e com maior documentação se comparada a VBA e AutoLisp. A referida linguagem também apresentou como característica favorável para utilização no plugin a existência de bibliotecas destinadas à produção de interfaces no AutoCAD, cujo os elementos sejam devidamente adaptados a uma nova estrutura com o intuito de assemelhar o plugin ao EPANET.

Inicialmente, para a ferramenta de programação toolkit do EPANET, foram desenvolvidos arquivos de comunicação para as linguagens Pascal, VBA e C++. Posteriormente, também foram desenvolvidos esses tipos de arquivos para linguagens mais modernas como, por exemplo, Java, Python e C#. Dentre estas últimas, somente com a linguagem C# é possível desenvolver plugins para o AutoCAD.

A programação orientada à objeto baseia-se no uso de objetos com diferentes métodos e parâmetros, permitindo organizar o código considerando elementos como tubulações, junções, bombas, válvulas, textos e curvas das bombas, sendo possível relacionar esses em uma lista de objetos que se adapta a qualquer tipo de rede. A organização desses é apresentada na figura abaixo.

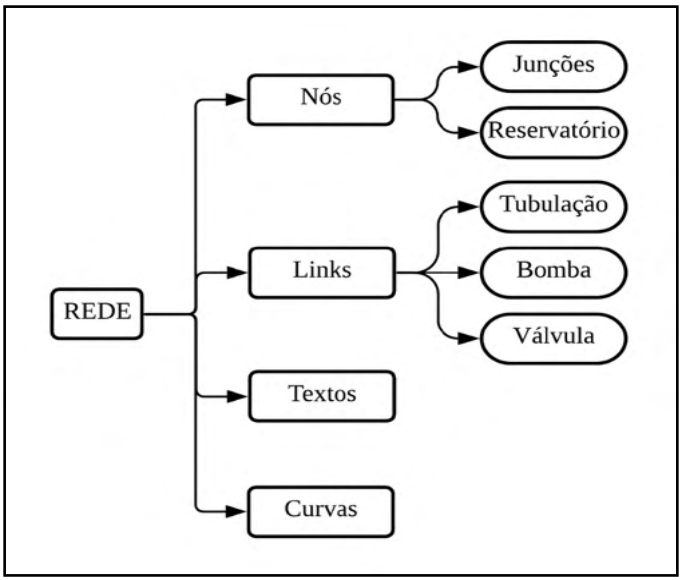

Figura 1 – Diagrama de divisão de objetos no plugin.

O plugin AQUACAD é uma aplicação desenvolvida para facilitar a criação de projetos de SAA, de maneira intuitiva, em um único ambiente, o AutoCAD. A interface utilizada é composta por uma guia, uma paleta de navegação e formulários, além de ser possível optar o idioma de preferência (inglês ou português).

Figura 2 - Guia AQUACAD (versão em inglês).

Figura 3 - Guia AQUACAD (versão em português).

Os botões da guia AQUACAD adicionada na faixa de opções do AutoCAD, foram divididos em, respectivamente, conversão de arquivos, adição de desenhos e dados importantes, execução da simulação hidráulica, configurações de projeto e desenho, busca de componentes da rede e, informações sobre o plugin. A implantação dos desenhos acontece mediante rotinas desenvolvidas, utilizando entidades do AutoCAD.

Figura 4 – Descrição dos botões.

Além das funções para inserir os elementos hidráulicos no desenho, também foi desenvolvido, rotinas computacionais para adicionar cotas e demandas nas junções. O cálculo das cotas nodais é realizado a partir de quatros amostras de pontos extraídos das curvas de nível por meio do método da média ponderada por quadrante. Já a definição das demandas nodais considera que cada nó recebe a influência da metade do comprimento de suas tubulações adjacentes.

As configurações do projeto são divididas em “Propriedades” e “Hidráulica”, em que é possível determinar valores padrões do projeto em questão, como as propriedades físicas das tubulações, opções gráficas do projeto de rede, parâmetros para cálculos da simulação hidráulica, e, até mesmo, salvar essas configurações para futuros projetos.

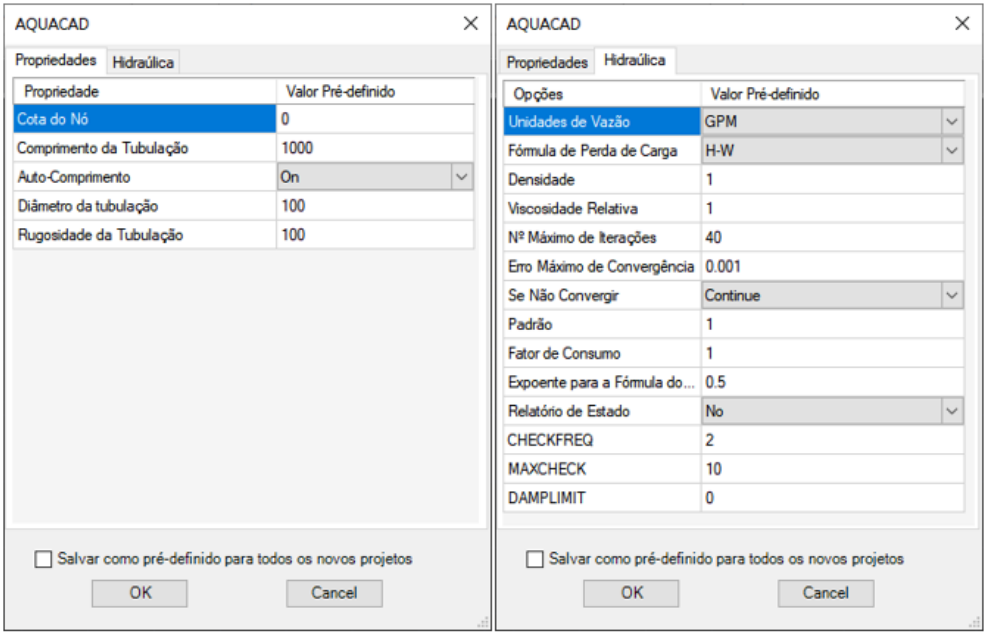

Figura 5 – Configurações do projeto.

Ao selecionar um elemento hidráulico será mostrada uma janela de edição de parâmetros, de forma semelhante ao EPANET (figura 6). Também é possível acessar as informações desses elementos por uma ferramenta de navegação, de maneira mais rápida (sem o evento de seleção), conforme a figura 7. Esse mecanismo é dividido em duas abas, uma que proporciona ao usuário a abertura da janela de dados do componente e outra que mostra no desenho valores desejados, seja para nós ou links, sendo que esse último ainda não foi desenvolvido.

Trecho p1

Propriedade	Valor
*Identificador do Trecho	p1
*Nó inicial	n1
*Nó Final	n2
Descrição	
Zona	
*Comprimento	88.19
*Diâmetro	100
*Rugosidade	150
Coef. Perda de Carga Singular	0
Estado Inicial	Open
Coef. Reação no Escoamento	0
Coef. Reação na Parede	0
Vazão	0.00
Velocidade	0.00
Perda de Carga	0.00
Fator de Resistência	0.00
Taxa de Reação	0.00
Qualidade	0.00
Estado	

Figura 6 – Janela de informações das tubulações.

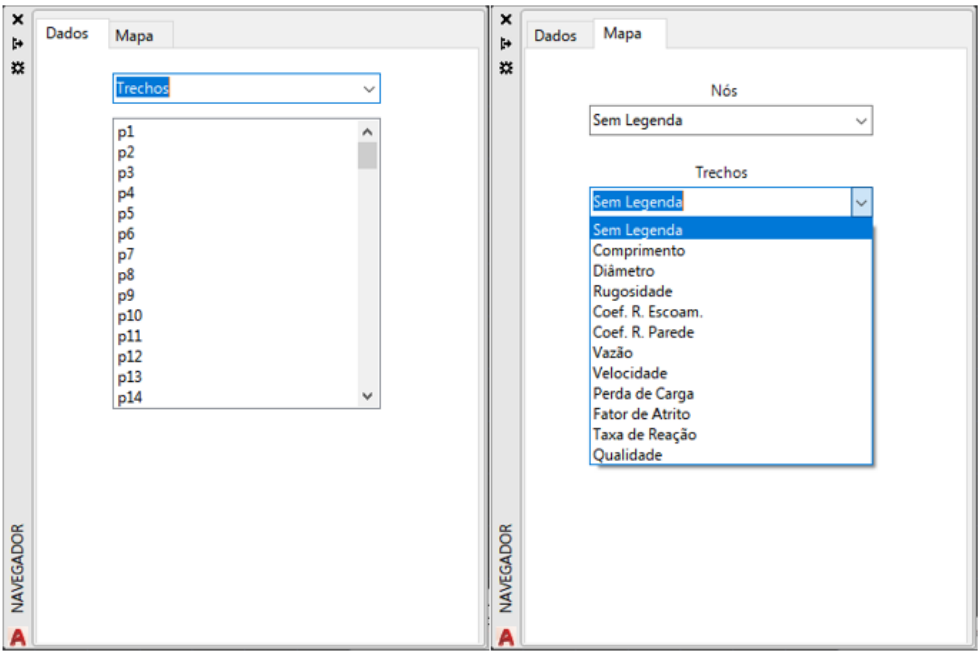

Figura 7 – Paleta de Navegação.

4 | ANÁLISE DOS RESULTADOS

Como estudo de caso, foi adotado uma rede hipotética contendo 2 reservatórios, 1 bomba, 1 válvula, 6 tubulações e 6 nós. Após inseridos os parâmetros de entrada desses elementos, foi realizada uma simulação no ambiente do AutoCAD. Em seguida, foi realizada a exportação da rede para o formato INP e realizada uma simulação no ambiente do EPANET.

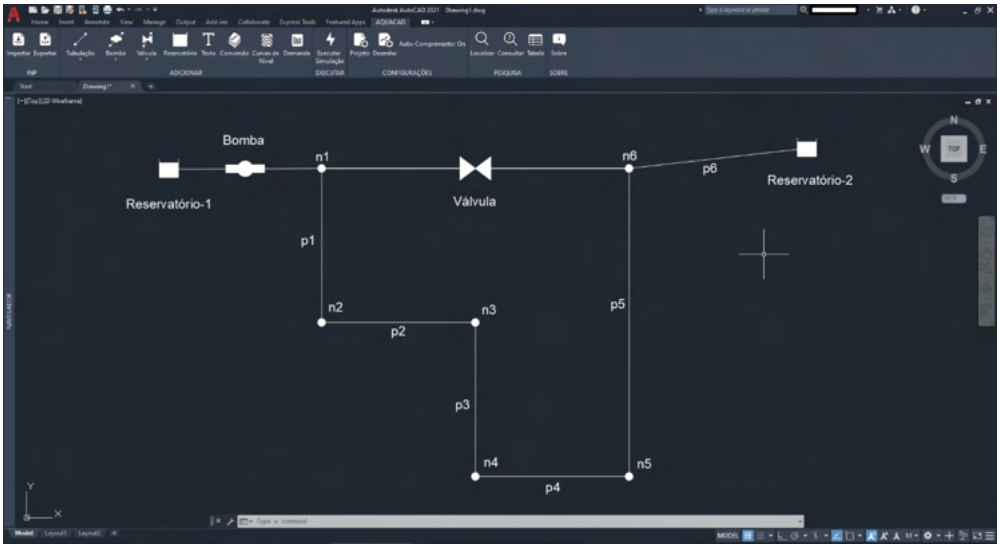

Figura 8 – Rede exemplo.

Inicialmente, no ambiente do EPANET, os valores das elevações e consumos nodais e demais parâmetros das tubulações, bomba, válvula e reservatórios foram verificados. Após a simulação hidráulica, foram comparados os valores retornados no ambiente do AutoCAD e EPANET, confirmando-se a igualdade desses valores. As figuras a seguir apresentam as janelas com os parâmetros para a bomba e uma tubulação com os valores ora citados.

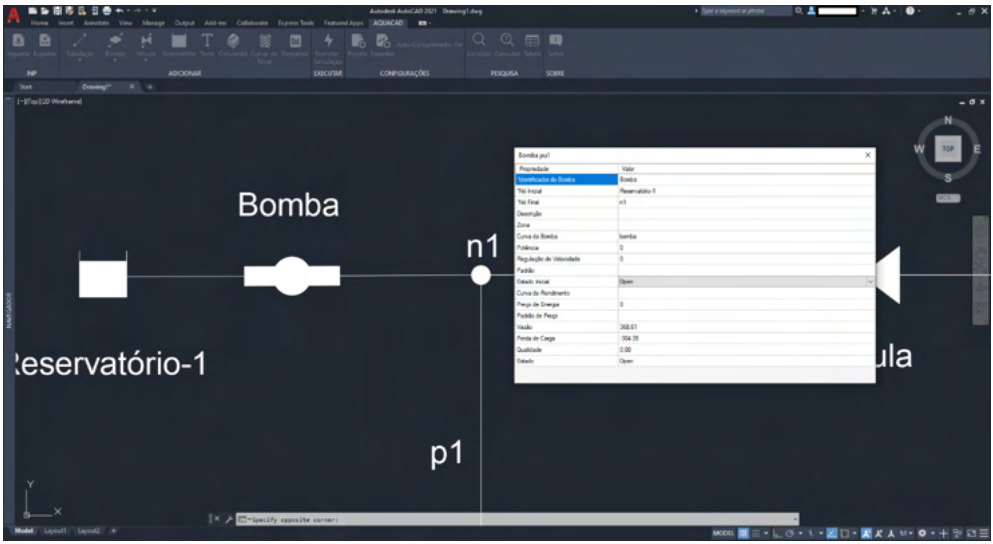

Figura 9 – Janela de informações da bomba (AUTOCAD).

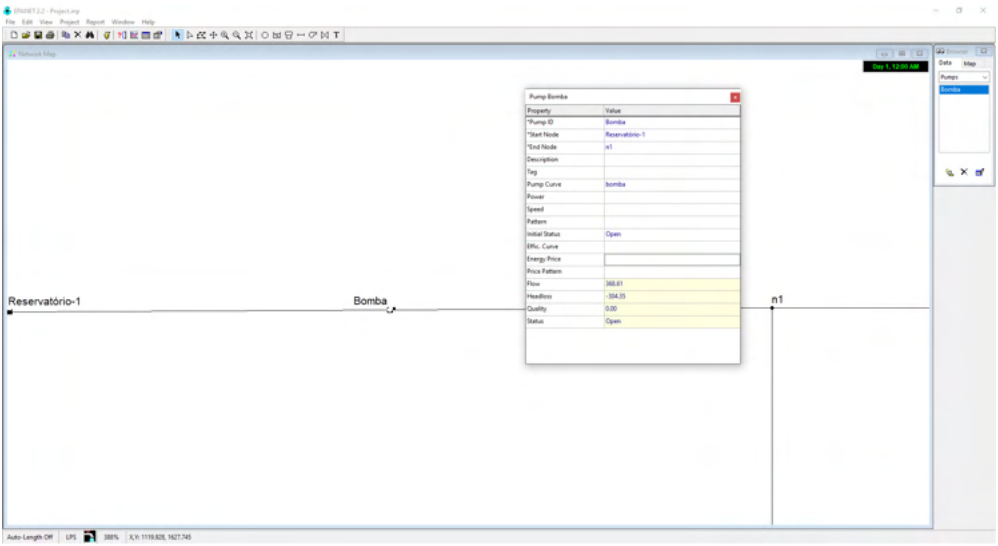

Figura 10 – Janela de informações da bomba (EPANET).

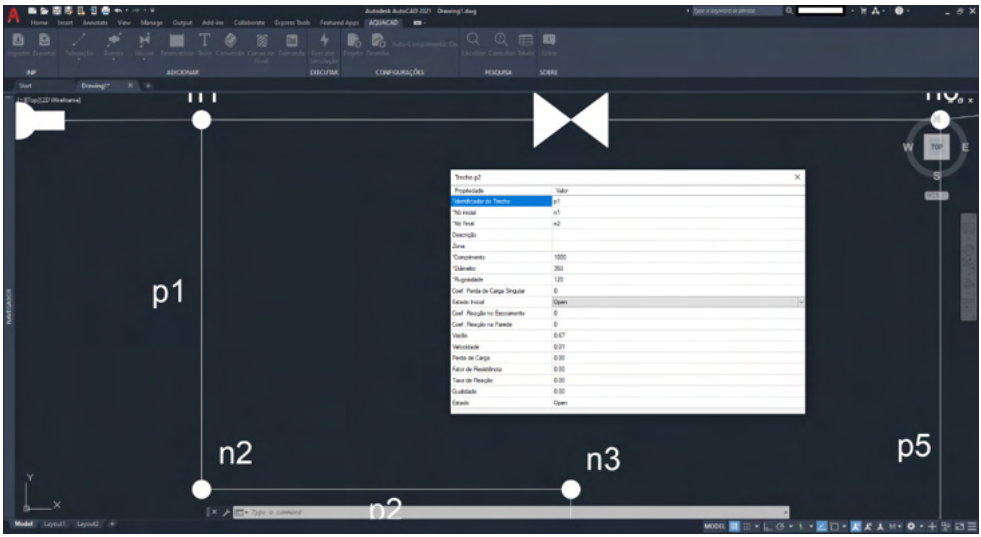

Figura 11 – Janela de informações do trecho (AUTOCAD).

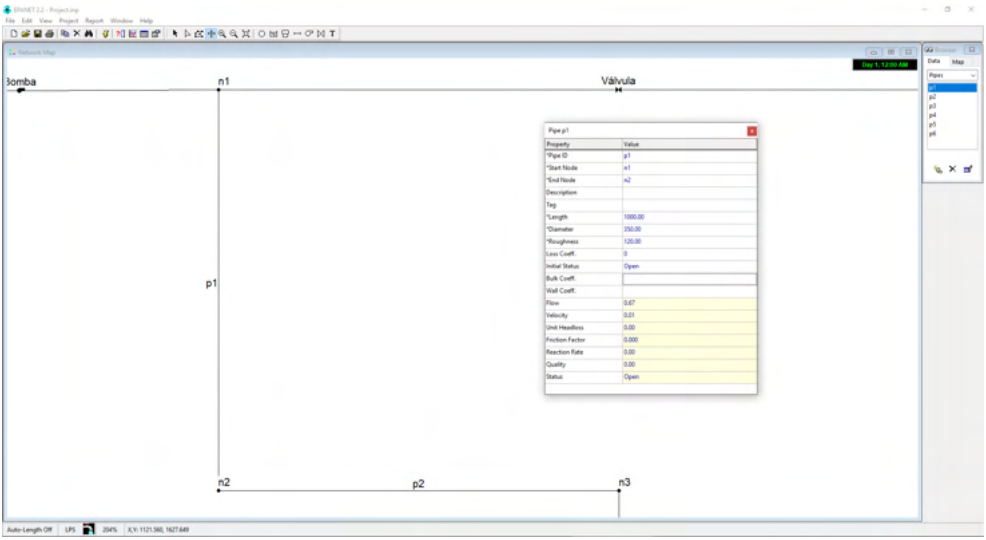

Figura 12 – Janela de informações do trecho (EPANET).

Os parâmetros inseridos no ambiente do AutoCAD, assim como os valores retornados após a simulação (ex: vazão das tubulações e pressões nodais) ficaram os mesmos apresentados pelo EPANET. Também foram mantidas as unidades, tipo de equação da perda de carga, curva da bomba, dentre outros.

5 | CONCLUSÕES

O AQUACAD-PLUGIN foi desenvolvido com o objetivo de auxiliar a criação e simulação de redes de Sistemas de Abastecimentos de Água, unicamente no ambiente do AutoCAD, sem a necessidade do uso do EPANET. Na versão atual é possível realizar somente simulações estáticas.

No Brasil, o plugin apresenta características inovadoras para a construção e simulação de modelos hidráulicos no ambiente do AutoCAD. Nesse sentido, espera-se que esse trabalho possa colaborar no desenvolvimento de estudos, análises e projetos de sistemas de saneamento para estudantes e profissionais da área.

Os autores agradecem à agência de fomento Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP) pelo apoio ao desenvolvimento dessa pesquisa.

REFERÊNCIAS

CASTRO, M. A. H. **Uso conjunto do AutoCAD e do Epanet para projeto, simulação e dimensionamento de redes de abastecimento de água**. In: Anais Eletrônicos do IV Seminário Hispano-Brasileiro sobre Sistemas de Abastecimento Urbano de Água, João Pessoa, 2004. Disponível em: <http://www.lenhs.ct.ufpb.br/html/downloads/serea/4serea/artigos/uso_conjunto_do_autocad_co.pdf>; . Acesso em: 25 ago. 2021.

MAGALHÃES COSTA, L. II-340 -**AQUACAD -APLICAÇÃO ONLINE PARA AUTOMAÇÃO DE PROJETOS DE SANEAMENTO**. [s.l.] , [s.d.]. Disponível em: <http://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/55006/1/2019_eve_lhmcosta.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2021.

ROSSMAN, L. A. EPANET2 – **Users Manual**, U.S. Environmenal Protection Agency, Ohio, 2000.

SILVEIRA NETO, J. P.; BEZERRA, A. A.; ARAÚJO, R. S. A. **Traçado de redes de distribuição de água em ambiente interativo entre AutoCAD e Epanet**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 30°, 16 a 19 jun. 2019, Natal, no Rio Grande do Norte. Anais, Natal, 2019.

CAPÍTULO 11

AQUACAD: CONVERSÃO ONLINE ENTRE ARQUIVOS DOS PROGRAMAS DA PLATAFORMA CAD, GIS E DOS SIMULADORES EPANET E SWMM

Data de aceite: 01/04/2022
Data de submissão: 18/02/2022

Luis Henrique Magalhães Costa
Universidade Estadual Vale do Acaraú
Sobral - CE
http://lattes.cnpq.br/5710487391407826

Guilherme Marques Farias
Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental
Sobral – CE
http://lattes.cnpq.br/3186143435546634

RESUMO: Um dos grandes problemas enfrentados pelos engenheiros projetistas na área de saneamento é a falta de automação entre os processos computacionais necessários à elaboração de um projeto. Em especial, podemos citar as etapas de simulação, realizadas em softwares como o EPANET e o SWMM, e da elaboração de desenhos, comumente realizada na plataforma CAD. Geralmente, os softwares que atuam na conversão de arquivos utilizados nessas etapas são desenvolvidos no formato de "aplicação desktop" ou no formato de "plugins para o AutoCAD". A proposta principal deste projeto é apresentar um novo formato de aplicação para a conversão de arquivos dos tipos INP (EPANET E SWMM), DXF(CAD) e SHP(GIS). A aplicação proposta, denominada AQUACAD, é do tipo "aplicação web" e pode ser acessada pelo domínio www.aquacad.net.
PALAVRAS-CHAVE: EPANET, SWMM, AQUACAD.

AQUACAD: ONLINE CONVERSION BETWEEN FILES FROM THE CAD PLATFORM, GIS AND EPANET AND SWMM SIMULATORS

ABSTRACT: One of the major problems faced by design engineers in the field of wastewater treatment and management is the lack of automation between the computational processes necessary for the elaboration of a project. In particular, we can mention the simulation steps, performed in software such as EPANET and SWMM, and project designing, commonly performed on a CAD platform. Generally, the software that acts in the conversion of files used in these steps are developed in the format of "desktop application" or as "plugins for AutoCAD". The main goal of this project is to present a new application format for converting INP (EPANET AND SWMM), DXF (CAD) and SHP (GIS) files. The proposed application, called AQUACAD, is of the "web application" format and can be accessed via the domain www.aquacad.net.
KEYWORDS: EPANET, SWMM, AQUACAD.

1 I INTRODUÇÃO

A representação numérica de um evento físico é composta de um conjunto de equações e procedimentos formados por variáveis e parâmetros. Essa representação é chamada de modelagem e vem sendo bastante utilizado na área de recursos hídricos. Tais modelos procuram simular o escoamento da água de forma mais

fidedigna possível. No âmbito da hidráulica, o software EPANET(ROSSMAN,2000) é bastante utilizado nas simulações de sistemas de distribuição de água enquanto o SWMM permite desenvolver simulações em bacias hidrográficas urbanas e redes de drenagem. Ambos os softwares foram desenvolvidos pela EPA (Environmental Protection Agency - USA).

Um dos grandes problemas enfrentados pelos usuários dos programas EPANET e SWMM é a conversão entre arquivos do formato destes programas (.inp) e arquivos do AUTOCAD (.dxf). Atualmente os programas computacionais que fazem essa conversão estão sendo desenvolvidos no formato "aplicação desktop", como por exemplo o EPACAD e o EPA2DXF ou no formato de "plugins" do AutoCAD como o programa UFC2 (Costa e Castro,2006). No primeiro formato, os algoritmos atuam sobre o arquivo DXF, permitindo que o desenho seja criado em qualquer programa da plataforma CAD. No segundo formato, os algoritmos responsáveis pela criação do arquivo INP são acionados dentro do AUTOCAD.

Pode-se afirmar que a automação da conversão de arquivos DXF e INP é de fundamental importância no auxílio de dimensionamento e simulação de redes de saneamento, possibilitando um aumento do nível de eficiência no projeto, além de aumentar a produtividade do projetista devido a possibilidade de análise de inúmeros cenários e verificações que essas automações podem proporcionar.

2 I OBJETIVO

Este trabalho busca apresentar a aplicação web AQUACAD capaz de, a partir dos arquivos DXF gerados pelos softwares do tipo CAD, criar arquivos do tipo INP, capazes de serem utilizados pelos modelos EPANET E SWMM. Também há a possibilidade da conversão do processo inverso, ou seja, conversão do formato INP para DXF. A aplicação também interpreta os elementos de um shapefile podendo, a partir destes gerar arquivos do tipo INP do EPANET.

A aplicação AQUACAD atua sobre os arquivos na conversão entre os formatos supracitados. Entretanto, a inovação desta aplicação está em seu formato. Em vez de se adotar o formato "aplicação desktop", foi desenvolvido o formato "aplicação web". Portanto, as automações poderão ser feitas de qualquer computador (ou tablet), independente do sistema operacional, com acesso à internet. O AQUACAD é uma aplicação gratuita, para fins de uso acadêmico e profissional e pode ser utilizada pelo site www.aquacad.net.

3 I MATERIAIS E MÉTODOS

A aplicação web AQUACAD deve ser acessada a partir do navegador de internet. Os arquivos inputs são enviados ao servidor por meio de uploads. Os dados presentes nestes arquivos serão interpretados via linguagem de programação para que, em seguida, os processos de conversão de arquivos possam ser realizados automaticamente. Finalizadas

as automações, os arquivos outputs poderão ser adquiridos pelos usuários via download.

Para a construção de aplicações web é necessário programar em dois ambientes de desenvolvimento: front-end e back-end. No ambiente front-end o programador projeta as interfaces que serão visualizadas pelo usuário por meio de seu navegador. Neste ambiente são utilizados, principalmente, três tipos de linguagem: HTML (linguagem de marcação), CSS (linguagem de estilo) e JavaScript (linguagem script/programação). No ambiente back-end é onde são desenvolvidos os algoritmos propriamente ditos. Neste caso é utilizada somente uma linguagem de programação sendo comumente utilizadas as linguagens PHP, Java, C# e Python.

O padrão arquitetônico utilizado no AQUACAD foi o MVC (Model-View-Controller) por meio da plataforma ASP NET MVC, disponível no ambiente de programação Visual Studio. Neste tipo de arquitetura há a divisão de três componentes: o modelo (model), contendo as estruturas de dados e seus métodos (rotinas computacionais); a visualização (view), com os scripts responsáveis pela interface do usuário e o Controle (Controller), onde ocorre a comunicação entre os dois componentes anteriores.

A plataforma ASP NET MVC foi a escolhida pela possibilidade de organização e setorização de todo o código (front-end e back-end), além da possibilidade do uso da linguagem C# como linguagem de programação back-end. Esta linguagem possibilita o uso de orientação a objetos, facilitando na organização e manipulação dos dados inerentes em problemas de redes como trechos e nós. A Figura 1 apresenta um fluxograma contendo o ciclo de uma execução da aplicação AQUACAD.

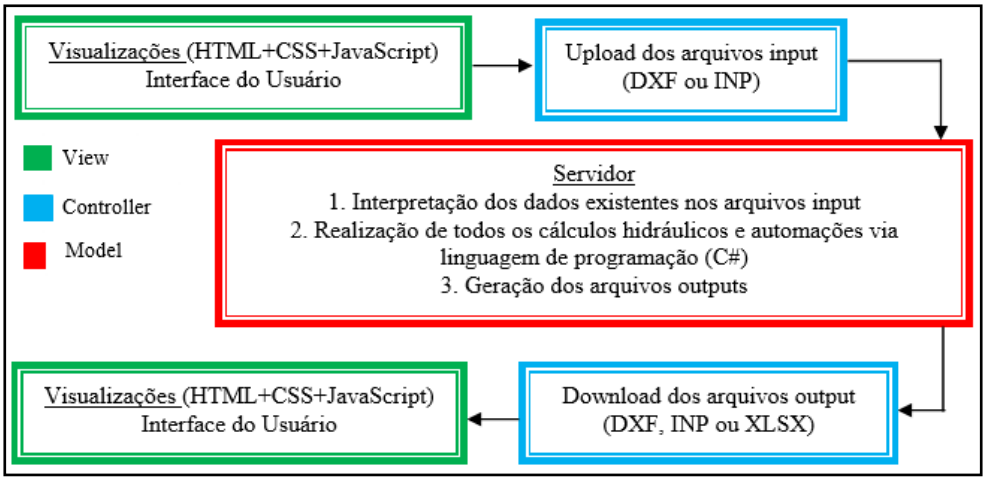

Figura 1 – Fluxograma de um ciclo de execução.

Após o usuário acessar a aplicação, haverá a opção de selecionar o arquivo DXF e iniciar o seu upload. Em seguida, no servidor, o arquivo será acessado e todas as

entidades (linhas e polilinhas) do desenho necessárias à construção do arquivo INP serão interpretadas via linguagem de programação. Após gerados os arquivos INP o usuário poderá salvar esses arquivos em seu computador por meio de downloads.

O formato DXF (Drawing Interchange Format) é um formato vetorial que a empresa Autodesk (AutoCAD, 2020) lançou para permitir o intercâmbio de arquivos de desenho entre os diferentes programas CAD.

Além do intercâmbio entre plataformas CAD, o formato DXF também é comumente utilizado para armazenagem e transferência de dados entre sistemas CAD e programas de aplicações específicas.

Existem duas versões de DXF (ASCII e binário). Optou-se pela versão em texto (ASCII) por facilitar a compreensão, o processamento e o armazenamento da estrutura de dados contidos nestes arquivos. O formato DXF é dividido em seções que especificam e detalham variáveis associadas com o desenho, conforme definidas no quadro abaixo.

SEÇÃO	DESCRIÇÃO
HEADER	Primeira seção descrita em um arquivo DXF. Esta seção contém variáveis que configuram características gerais do desenho como, por exemplo, o layer corrente, 0 ponto inferior esquerdo e o superior direito do desenho, dentre outras.
TABLE	Descreve as características relacionadas com as entidades gráficas que são, antes da sua criação, configuradas em tabelas. Como exemplo pode-se citar tabelas de layers, estilo de texto, estilo de linha, dentre outras.
ENTITIES	Tipos de entidades gráficas (linhas, polilinhas, círculo, texto, etc.), suas coordenadas dos vértices, assim como o layer utilizado para a sua edição, dentre outras.
BLOCKS	Representa um conjunto de entidades agrupadas no formato de um bloco.

Quadro 1: Seções do arquivo DXF.

Os algoritmos do AQUACAD acessam duas seções do arquivo DXF. Na seção “TABLE” são identificados os *layers* e na seção “ENTITIES”, as entidades do tipo texto, linha e polilinha que representam elementos do projeto. A figura 5 apresenta a codificação de uma linha e os seus parâmetros. Desta forma, via linguagem de programação, por meio de um vetor do tipo *string* é possível, interpretar e criar qualquer tipo de entidade.

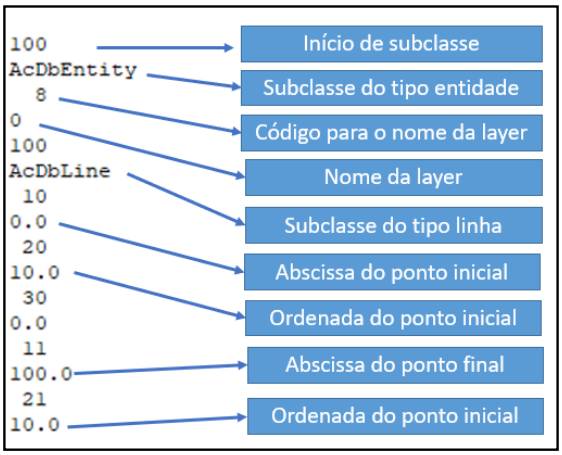

Figura 2 – Formato textual do arquivo DXF.

O arquivo no formato INP gerado pelos programas EPANET e SWMM também contém todos os elementos do estudo de caso organizados de forma textual. Ao contrário do formato DXF, sua interpretação e construção, via linguagem de programação, é bastante simples.

Já o formato SHP (shape file) por ser do tipo binário não permite uma interpretação de forma simples. A descrição da associação entre a codificação binária e os elementos do desenho pode ser verificada em ESRI (1998).

No que se refere a distribuição dos consumos nodais, a partir de uma vazão total, é considerado no AQUACAD a definição descrita por Cheung (2004), onde as demandas nos nós devem ser obtidas através do consumo ao longo dos trechos, ou seja, atribui-se metade da demanda ao longo de um trecho ao nó de montante e a outra metade dessa demanda ao nó de jusante. A figura 6 apresenta um exemplo da disposição de nós e trechos de um sistema, e como as demandas nodais serão calculadas.

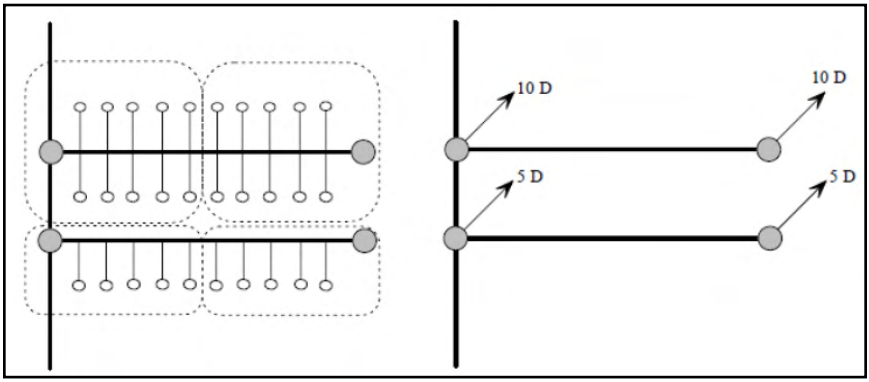

Figura 3 – Nós, ligações e alocação de demanda (Cheung, 2004).

As elevações dos nós podem ser calculadas a partir das curvas de nível que, por sua vez, devem ser entidades do tipo polilinha ou spline. Para a definição dessas elevações é realizada uma interpolação a partir de quatro amostras de pontos pelo método da média ponderada por quadrante (GISGeography, 2020).

Para o caso da conversão de DXF para INP (EPANET), além da interpolação das cotas para os nós do arquivo INP, também há a distribuição das demandas dos nós de forma automática conforme define Cheung (2004), onde atribui-se metade da demanda ao longo de um trecho ao nó de montante e a outra metade dessa demanda ao nó de jusante. Na conversão de INP para DXF, para cada trecho será gerado uma linha. Próximo ao ponto médio de cada linha haverá textos com os valores dos diâmetros e dos comprimentos. Os reservatórios também são representados no desenho junto com os seus parâmetros.

4 I ANÁLISE DOS RESULTADOS

Para a análise da aplicação web AQUACAD será utilizado um estudo de caso referente as redes da cidade de Barreiras (BA) (figura 2). Além dos resultados gerados pela aplicação também serão analisados o tempo total do processo de automação, considerando o upload, processamento e download.

Na verificação da conversão CAD/EPANET foi considerado o sistema de abastecimento de água da margem esquerda do rio. Já na verificação da conversão CAD/SWMM foi utilizado uma zona de inundação localizada na margem direita do rio.

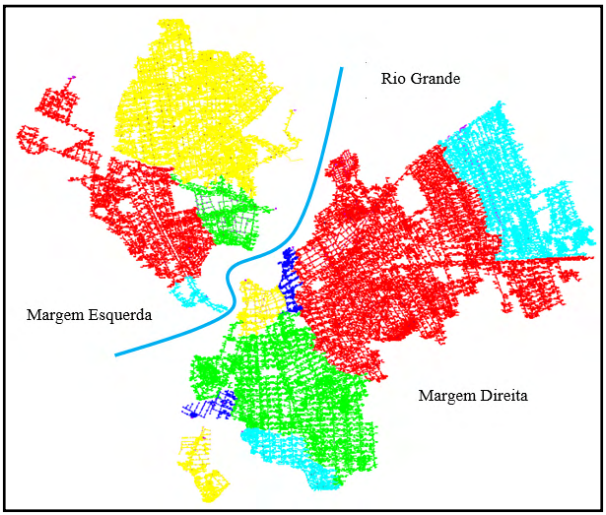

Figura 4 – Estudo de Caso.

As figuras a seguir mostram os arquivos gerados pela aplicação web a partir dos traçados realizados no CAD. Para o arquivo INP do EPANET foram interpretadas as

tubulações de água e no arquivo INP do SWMM os limites das subbacias hidrográficas.

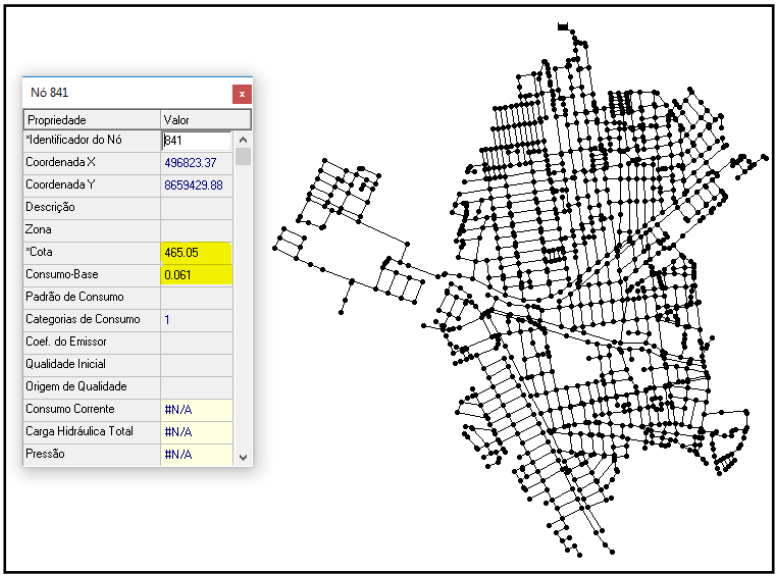

Figura 5 – Estudo de Caso - formato INP(EPANET).

O estudo de caso apresentado na figura abaixo foi objeto de trabalho de Silva *et al*. (2013) que tiveram como objetivo simular diferentes medidas de controle de cheias por meio do simulador SWMM em nível de lotes e de sub-bacias, verificando suas respectivas eficiências, de forma a contribuir com a gestão das águas pluviais dos bairros São Paulo e Vila Regina, considerados dois dos que mais sofrem com alagamentos no município de Barreiras-BA. Os limites das sub-bacias foram definidos na plataforma CAD por meio da entidade do tipo polilinha.

Em seguida foi gerado o arquivo DXF e realizado o upload para a aplicação AQUACAD. Após finalizada a conversão foi possível fazer o upload do arquivo INP no formato do SWMM.

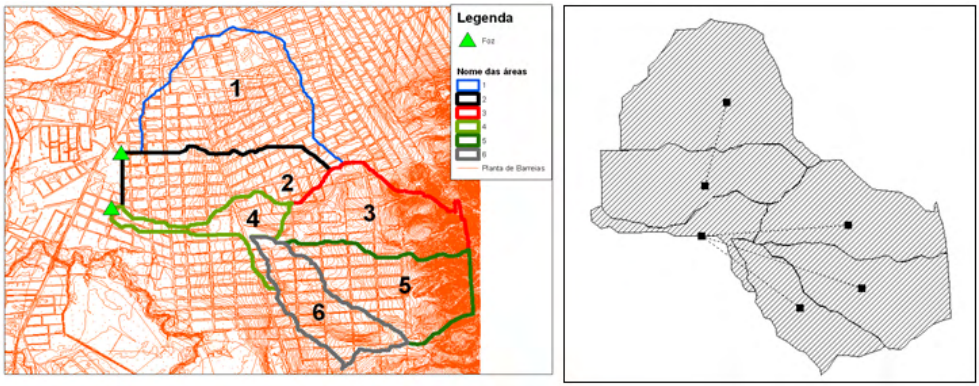

Figura 6 – Conversão entre os formatos DXF e INP(SWMM).

5 I CONCLUSÕES

A aplicação web apresentada neste trabalho atua na conversão de dois formatos de arquivos: INP e DXF. Desta forma é possível, a partir de desenhos realizados no AUTOCAD, por meio de entidades simples como linhas e polilinhas, gerar os arquivos inputs (INP) dos simuladores EPANET e SWMM de forma automática.

Para o caso do EPANET, as demandas nodais também são geradas conforme a vazão de distribuição informada pelo usuário. Entretanto, a análise hidráulica do sistema de distribuição de água como o dimensionamento das tubulações e as verificações das pressões nodais, deverão ser feitas pelo usuário no simulador EPANET. De forma semelhante, para o SWMM, os parâmetros físicos e hidrológicos também deverão ser inseridos neste simulador.

Os tempos computacionais demandados para o processo de automação serão em função do tamanho da rede. Como os algoritmos atuam unicamente na conversão de arquivos, este processo é realizado rapidamente (no máximo, em poucos segundos). O maior tempo computacional demandado será nos processos de upload e download que está associado velocidade da conexão da internet do usuário.

Contudo e devido a simplicidade do uso do AQUACAD relacionadas à entrada de dados (já que o usuário irá inserir somente entidades simples como linhas, polilinhas), ao formato de execução (feita por meio de um navegador de internet e sem a necessidade de instalação de programas) e à possibilidade do uso em qualquer sistema operacional, espera-se que esta ferramenta seja utilizada por projetistas e por acadêmicos da área de saneamento.

REFERÊNCIAS

Autocad (2020). **About the DXF Format (DXF)**. AUTODESK Knowledge. Disponível em: https://help.autodesk.com/view/OARX/2019/ENU/?guid=GUID-235B22E0A567-4CF6-92D3-38A2306D73F3. Acessado em 03 set. 2020.

CHEUNG, P.B. **Análise de Reabilitação de Redes de Distribuição de Água de Abastecimento via Algoritmos Genéticos Multiobjetivo**. São Carlos – S.P. 268p. Tese (Doutorado)- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo,2004.

COSTA, M.G, CASTRO,M.A.H. Uma Interface de pré-processamento para o EPANET utilizando o AUTOCAD: o programa UFC2. **VI SEREA – Seminário Iberoamericano sobre Sistemas de Abastecimento Urbano de Água**. João Pessoa, 2006.

ESRI. **ESRI ShapefileTechnical Description**, 1998.

GISGeography. DIsponível em: https://gisgeography.com/inverse-distance-weighting-idw-interpolation. Acesso em 10 out. 2020.

ROSSMAN, L.A. EPANET2 – **Users Manual, U.S. Environmenal Protection Agency**. Ohio , 2000.

SILVA, M.P; COSTA, L.H.M; CASTRO, M.A.H., Aplicação do Modelo de Gestão de Drenagem Urbana SWW no controle de alagamentos em Barreiras-BA. **XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. Bento Gonçalves, 2013.

CAPÍTULO 12

APLICAÇÃO DO TANK MODEL NA MODELAGEM DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PIRANHAS EM GOIÁS

Data de aceite: 01/04/2022
Data de submissão: 07/02/2022

Tales Dias Aguiar
Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Goiás. Mestre em Engenharia Ambiental e Sanitária. Doutorando em Ciências Ambientais na Universidade Federal de Goiás, Goiás, Brasil
Goiânia – GO
https://orcid.org/0000-0003-4463-4534
http://lattes.cnpq.br/7434907335333549

Débora Pereira da Silva
Engenheira Civil pelo Instituto Federal de Goiás – Campus Goiânia. Mestre em Engenharia Ambiental e Sanitária. Doutoranda em Ciências Ambientais na Universidade Federal de Goiás, Goiás, Brasil
Goiânia – GO
https://orcid.org/0000-0002-5008-6813
http://lattes.cnpq.br/1655210326171129

RESUMO: Os modelos hidrológicos são frequentemente utilizados na modelagem de uma diversidade de variáveis ambientais e são ferramentas fundamentais para a gestão dos recursos hídricos. Possibilitam também a compreensão da dinâmica e do processo das inundações, bem como a possibilidade de prevenção das mesmas. Um dos principais objetos de estudo dos modelos hidrológicos são as bacias hidrográficas. Modelos hidrológicos podem ser utilizados tanto nas condições de cheia de uma bacia quanto na indisponibilidade dos recursos hídricos. A presente pesquisa tem como objetivo verificar o ajuste do modelo chuva-vazão na bacia hidrográfica do Rio Piranhas, por meio do coeficiente de Nash-Sutcliffe (NSE), ao aplicar o algoritmo de Gradiente Reduzido Generalizado (GRG) não linear e Evolutionary. Utilizamos o Tank Model como instrumento de caracterização da bacia localizada na região sudoeste do estado de Goiás, obtendo assim as vazões diárias e mensais na seção do rio, a partir dos dados de precipitação e evapotranspiração. O algoritmo GRG não linear apresentou um melhor desempenho para modelagem da vazão. As vazões mensais apresentaram melhor ajuste, conforme verificado pelos coeficientes de Nash-Sutcliffe para as vazões mensais de 0,784 e 0,730, diante dos 0,580 e 0,537 para as vazões diárias.

PALAVRAS-CHAVE: Modelo Hidrológico, Chuva-Vazão, Tank Model, Cerrado.

APPLICATION OF THE TANK MODEL IN THE MODELING OF THE PIRANHAS RIVER BASIN IN GOIÁS

ABSTRACT: Hydrological models are frequently used in the modeling of a variety of environmental variables and are fundamental tools for the management of water resources. They also make it possible to understand the dynamics and process of floods, as well as the possibility of preventing them. One of the main objects of study of hydrological models are hydrographic basins. Hydrological models can be used both in the flood conditions of a basin and in the unavailability of water resources. The present research aims to verify the fit of the rainfall-runoff

model in the Piranhas River basin, through the Nash-Sutcliffe coefficient (NSE), when applying the nonlinear and Evolutionary Generalized Reduced Gradient (GRG) algorithm. Were used the Tank Model as an instrument to characterize the basin located in the southwest region of the state of Goiás, thus obtaining daily and monthly flows in the river section, based on precipitation and evapotranspiration data. The non-linear GRG algorithm presented a better performance for flow modeling. The monthly flows showed better adjustment, as verified by the Nash-Sutcliffe coefficients for the monthly flows of 0.784 and 0.730, compared to 0.580 and 0.537 for the daily flows.
KEYWORDS: Hydrologic model, Rainfall-Runoff, Tank Model, Savanah.

INTRODUÇÃO

As variáveis hidrológicas representam os dados essenciais para o desenvolvimento de estudos hidrológicos, formulação de estratégias de gestão dos recursos hídricos, proteção contra inundações, mitigação de contaminação dos mananciais e dentre outros (BEVEN, 2011). No entanto, em diversas regiões do mundo, esses valores apresentam incertezas espaciais, devido às redundâncias e descontinuidades de amostragem ocasionadas por fatores geológicos, topográficos, ambientais, climáticos e culturais, bem como incertezas temporais, devido às limitações de amostragem (DINGMAN, 2015). Logo, as séries históricas dos dados de precipitação, evapotranspiração e vazão podem ser pouco representativas (CELESTE; MENEZES; FONTES, 2014).

A fim de superar os desafios da distribuição espacial e temporal das variáveis hidrológicos, principalmente quando se refere à vazão superficial, nas últimas décadas, tem-se desenvolvido e aperfeiçoado os modelos hidrológicos com a finalidade de extrapolar as medições das variáveis e simular de forma simples o ciclo hidrológico (DINGMAN, 2015).

Alguns modelos desenvolvidos, como os modelos de chuva-vazão, buscam determinar a vazão dos cursos d'água a partir da precipitação a que a bacia hidrográfica está submetida, sendo assim a precipitação é o dado mais importante. Nesse estudo iremos abordar o ajuste do modelo Tank Model avaliando à vazão estimada através de comparação com os valores observados pela estação fluviométrica da bacia hidrográfica em estudo, essa verificação foi realizada através do coeficiente de Nash-Sutcliffe (NSE).

O modelo Tank Model, classificado como determinístico e conceitual, foi desenvolvido no Japão por Sugawara (1979). De acordo com Lara & Kobiyama (2012), esse modelo hidrológico é constituído por quatro tanques, no qual o armazenamento de água no primeiro é determinado pela chuva e o armazenamento nos demais tanques pela infiltração do tanque superior.

No Brasil, há estudos no rio Piancó localizado no estado da Paraíba com a finalidade de estimar a disponibilidade hídrica mensal em uma área com potenciais conflitos pelo uso da água (NUNES et al, 2014) e na bacia do rio Japaratuba em Recife, para confrontar a vazão estimada com os valores utilizados na elaboração do Plano Estadual de Recursos

Hídricos (PERH-SE) (CELESTE; MENEZES; FONTES, 2014).

Este estudo teve como objetivo verificar os resultados da validação e calibração ao aplicar a modelagem conceitual denominada como Tank Model, para representar o processo de chuva-vazão na bacia hidrográfica do Rio Piranhas na região noroeste do Estado de Goiás, empregando o algoritmo de Gradiente Reduzido Generalizado (GRG) não linear e Evolutionary.

MATERIAIS E MÉTODOS

Caracterização da área de estudo

A área de estudo abrange a sub-bacia do Rio Piranhas localizada na região noroeste do Estado de Goiás, com área de aproximadamente 1319,62 km² e 206,34 km de perímetro, e pertencente à bacia hidrográfica do Rio Caiapó (Figura 1).

O Rio Piranhas é um dos afluentes do Rio Caiapó e possui cerca de 114,02 km de extensão, o desnível do curso d'água é de 523 m (Figura 2) e a declividade média de 0,34 m/m (Figura 3), considerada como baixa. A região com clima Tropical úmido (Aw), conforme classificação de Köppen (1948), apresenta precipitação acumulada média de 1657,42 mm/ano com base nos registros de 1975 a 2005 (ANA, 2020).

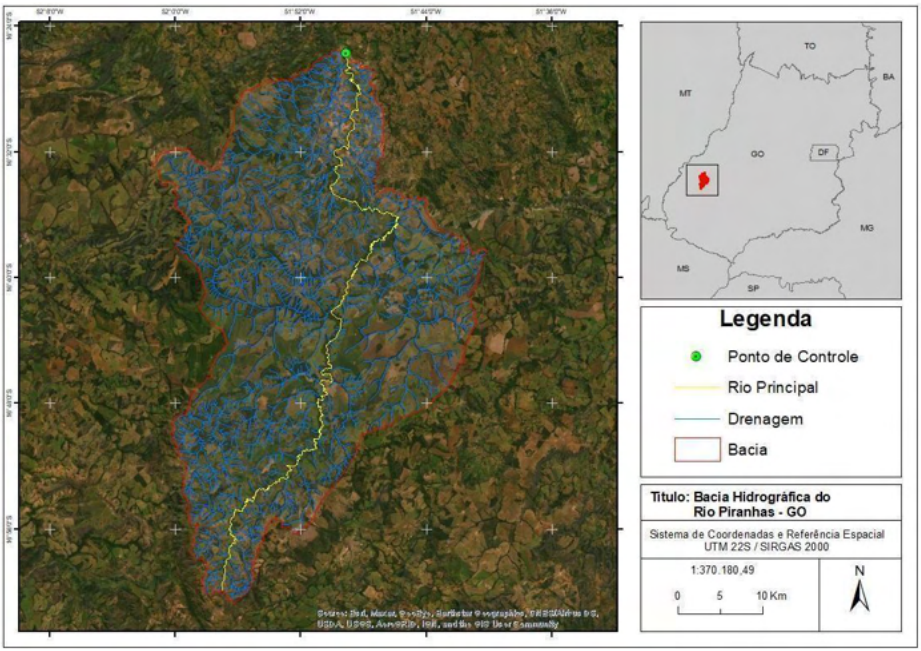

Figura 1: Representação da delimitação da bacia hidrográfica do Rio Piranhas, localizada na região noroeste do Estado de Goiás.

Fonte: Autores.

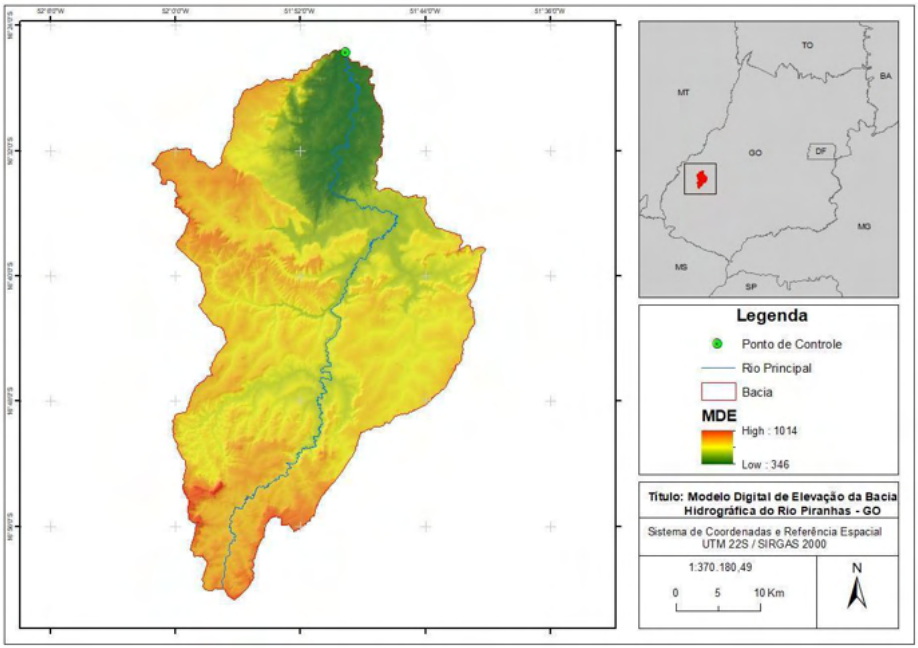

Figura 2: Representação do desnível da bacia hidrográfica do Rio Piranhas, localizada na região noroeste do Estado de Goiás.

Fonte: Autores.

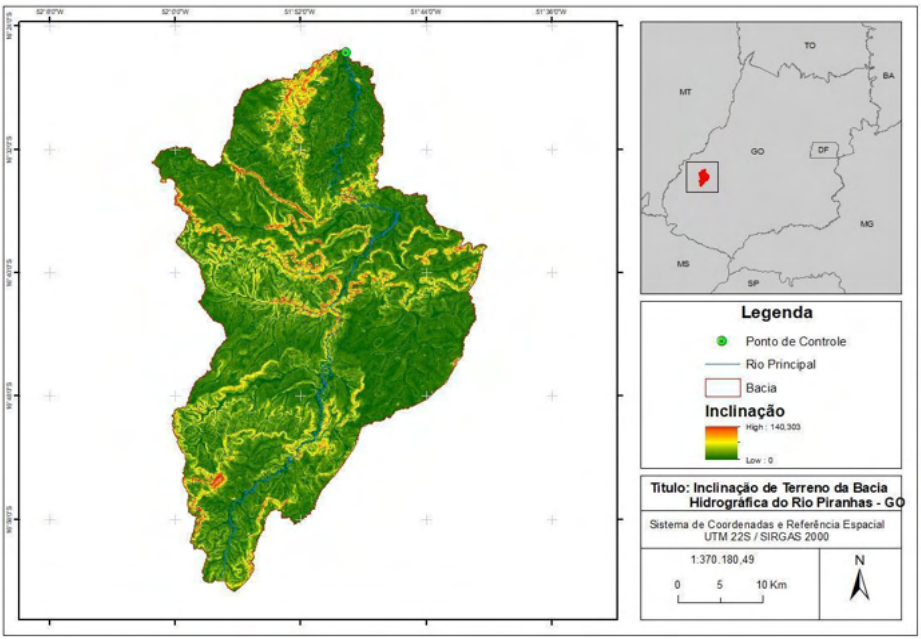

Figura 3: Representação da inclinação da bacia hidrográfica do Rio Piranhas, localizada na região noroeste do Estado de Goiás.

Fonte: Autores.

Conjunto de dados

Por se tratar de um modelo que não requer muitas variáveis, foram utilizados dados de precipitação e evapotranspiração como informações de entrada e as vazões diárias como dados de saída. Os dados de precipitação foram obtidos por meio de consulta à base Hidroweb, ferramenta pública da Agência Nacional de Águas (ANA, 2020) que dispõe de um banco de informações da Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN). Através de duas estações pluviométricas (código nº 01651000 e 01651002) foi calculado, pelo método dos polígonos de Thiessen, a precipitação média da bacia.

A evapotranspiração foi obtida a partir da média para a bacia dos valores de ETo presentes em uma grade regular de 0,25° x 0,25° gerada por Xavier et al. (2016). Nesse estudo, a ETo foi estimada pelo método de Penman-Monteith a partir dos dados de temperatura máxima e mínima, radiação solar, umidade relativa e velocidade do vento presentes em 735 estações meteorológicas, distribuídas por todo o território brasileiro, para o período de 1980-2013. O método de interpolação utilizado foi a ponderação de distância angular (ADW).

As vazões diárias observadas foram obtidas por meio de consulta à base Hidroweb com a seleção da estação fluviométrica nº 24780000 do Rio Piranhas, sendo esses dados utilizados na comparação com o valor obtido pelo modelo hidrológico do Tank Model.

Aplicação do Tank Model

O Tank Model representa os fluxos externos e internos de uma determinada bacia hidrográfica de acordo com o balanço hídrico. Tal modelo corresponde ao agrupamentos de tanques em série, que apresentam diversas saídas no fundo e nas laterais de cada tanque, conforme ilustrado na Figura 4. O escoamento lateral representa o escoamento das chuvas, sejam elas lentas ou rápidas, o escoamento do fundo representa a infiltração e contribuem indiretamente para o fluxo superficial (COSTA e HONÓRIO, 2020).

A Figura 4 ilustra o esquema de dois tanques utilizado neste estudo. Para a simulação do balanço de massa e obtenção da vazão do rio na seção considerada, soma-se as saídas laterais no primeiro tanque que representam o escoamento superficial e hipodérmico, a saída lateral do segundo tanque que corresponde ao escoamento intermediário e a saída de fundo que representa o fluxo de base subterrânea (PEREIRA *et al.*, 2016).

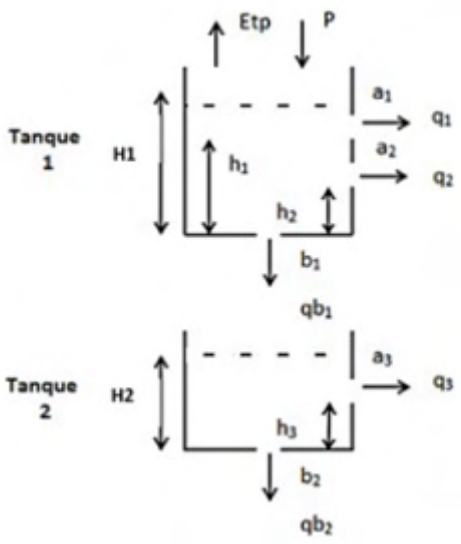

Figura 4: Modelo Tank Model.

Fonte: Costa e Honório, 2020, p. 109.

Onde:

P = Precipitação;

Etp = Evapotranspiração potencial;

H1 e H2 = altura das lâminas d'água armazenadas nos tanques;

a1, a2 e a3 = coeficiente de vazão lateral;

b1 e b2 = coeficiente de vazão de fundo;

h1, h2 e h3 = alturas dos orifícios das saídas laterais;

q1, q2 e q3 = escoamento superficial;

qb1, qb2 = descargas de fundo.

O ajuste do modelo de chuva-vazão é realizado de forma manual, através de um processo de regressão matemática, utilizando o algoritmo de otimização de Gradiente Reduzido Generalizado (GRG) não linear e Evolutionary, de acordo com os fundamentos propostos por Nash-Sutcliffe (1970). O método de otimização convencional apresentado na Equação 1 depende de valores iniciais para as variáveis, pois o conjunto de valores estimados altera o processamento do modelo (LARA & KOBIYAMA, 2012).

A distribuição da vazão no rio Piranhas foi avaliada para o período diário e mensal.

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{t=1}^{T} \quad (Q_{obs}^{t} - Q_{calc}^{t})^2}{\sum_{t=1}^{T} \quad (Q_{obs}^{t} - \underline{Q_{obs}})^2} \tag{1}$$

Onde:

NSE = coeficiente de Nash-Sutcliffe

Qobs = vazão observada no campo

Qcalc = vazão calculada pelo método

$\underline{Qobs}$ = vazão observada média

RESULTADOS

A bacia hidrográfica possui uma paisagem caracterizada por um uso do solo predominantemente agropecuário, com presença de vegetação nativa típica do bioma Cerrado,e por um relevo relativamente heterogêneo, variando de áreas planas a onduladas. Os usos da água predominante na bacia hidrográfica do Rio Caiapó são destinados às atividades como abastecimento público, bombeamento, irrigação e piscicultura, conforme outorgas de direito de uso de recursos hídricos publicadas no Diário Oficial até o ano de 2018 (SEMAD, 2021).

Para a aplicação do modelo Tank Model, verificou-se que o GRG não Linear apresentou o melhor ajuste das variáveis no período diário e mensal do que Evolutionary.

NSE da vazão diária		
	GRG não linear	Evolutionary
Calibração	0,580	0,571
Validação	0,537	0,520
NSE da vazão mensal		
	GRG não linear	Evolutionary
Calibração	0,784	0,688
Validação	0,730	0,695

Tabela 1: Resultados de NSE correspondentes aos algoritmos GRG não Linear e Evolutionary.

A Tabela 2 apresenta os valores correspondentes dos parâmetros ajustados aos modelos avaliados (diário e mensal) após a aplicação do algoritmo GRG não linear, visto que esse algoritmo de otimização apresentou o melhor ajuste. Logo, esses parâmetros representam a conformação do modelo à realidade encontrada na bacia, podendo ser considerados como melhores ajustes encontrados para os dados existentes.

Período	**H1**	**H2**	**H3**	**a1**	**a2**	**a3**	**b1**	**b2**	**CTES**
Diária	164,53	0	30	0,02	0,01	0,002	0,02	0,02	0
Mensal	88,44	0	10	0,014	0,007	0,002	0018	0,002	0

Tabela 2 - Parâmetros obtidos através da otimização da vazão diária e mensal no Tank Model, através do algoritmo GRG não linear.

A Figura 5 e 6 representam a variação da vazão do rio Piranhas obtida pelo modelo Tank Model, para os períodos avaliados: diário (Figura 5) e mensal (Figura 6). Para a estimativa mensal de vazão realizou-se a soma das vazões diárias em cada mês

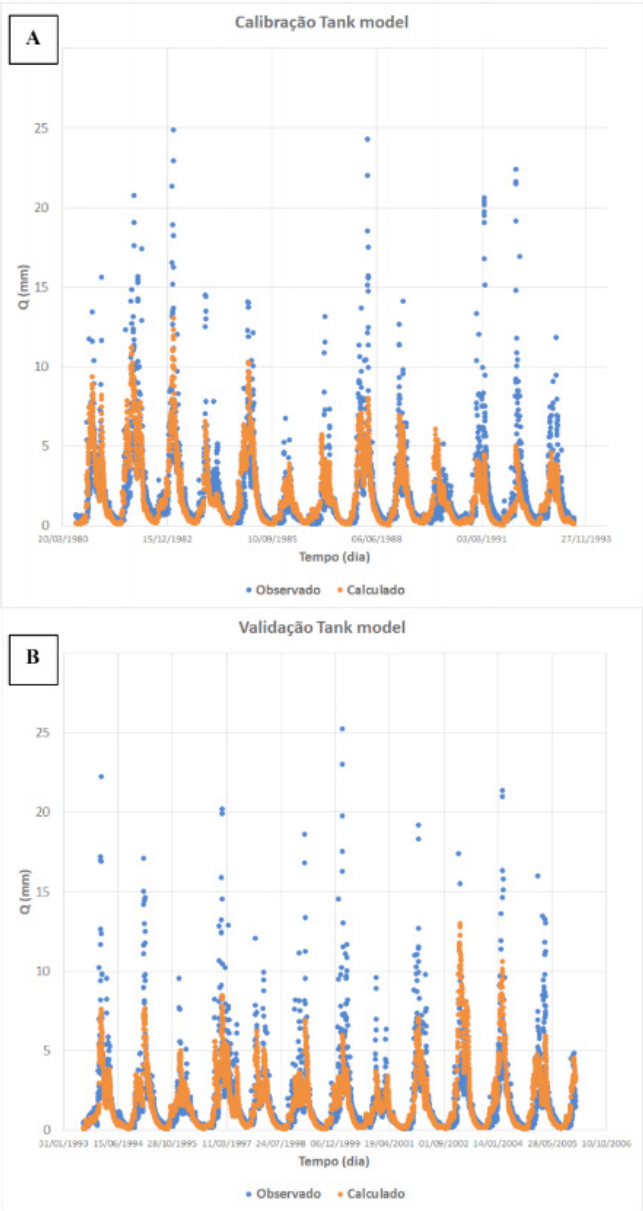

Figura 5: Distribuição diária das vazões utilizando o Tank Model na etapa de calibração (A) e validação (B).

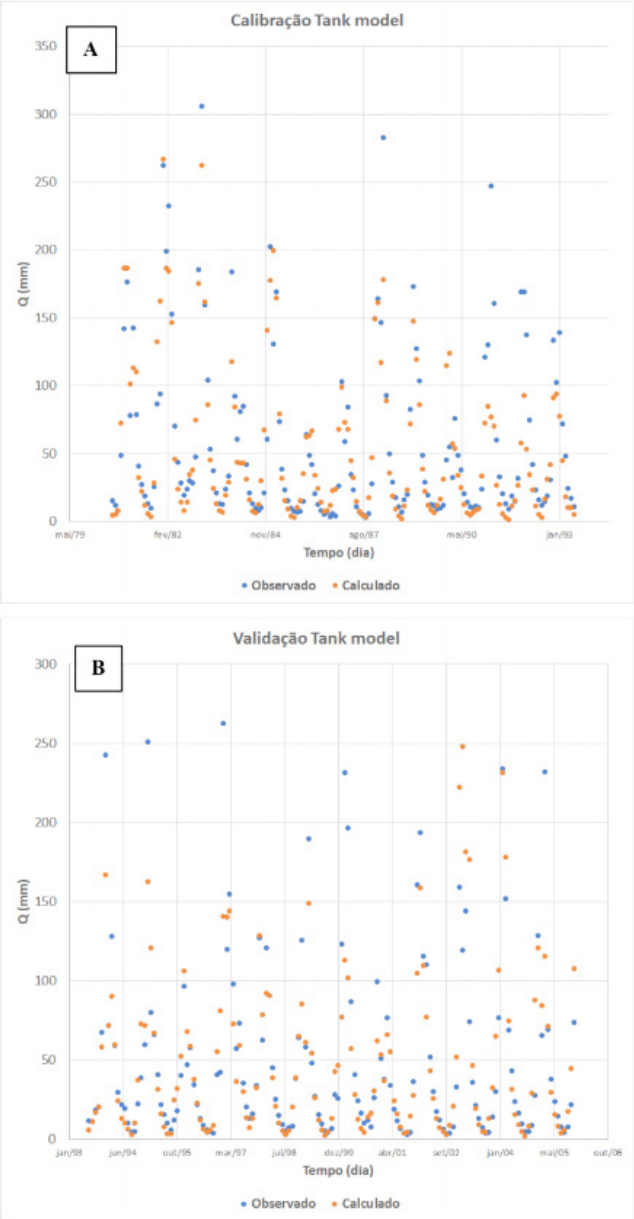

Figura 6: Distribuição mensal das vazões utilizando o Tank Model na etapa de calibração (A) e validação (B).

ANÁLISE DOS RESULTADOS

Na Figura 5, observa-se que a vazão diária calculada pelo modelo hidrológico não conseguiu reproduzir os valores mais elevados registrados pela estação fluviométrica, contudo, teve um bom ajuste para as pequenas vazões. No período mensal, ilustrado pela

Figura 6, as vazões apresentaram um bom ajuste para todos os intervalos de vazões.

Esses resultados são corroborados pelos valores de NSE, no qual para o período mensal, o ajuste do NSE foi de 0,784 e 0,730 na fase de calibração e validação, respectivamente (Tabela 1), sugerindo uma boa aplicabilidade em diversas situações, tais como: dimensionamento de reservatórios e estudos de bacias hidrográficas com pouca disponibilidade de dados.

Os valores NSE estimados neste trabalho corroboram com as conclusões obtidas em outros estudos utilizando o Tank Model (LARA et al., 2012; ARIFJAYA et al., 2011), onde foram encontrados resultados satisfatórios na aplicação desse modelo hidrológico. Na pesquisa desenvolvida por Pereira *et al.* (2016), os autores estimaram a vazão para uma bacia hidrográfica também localizada no bioma Cerrado, com ajustes elevados nas etapas de calibração (NSE diário igual a 0,894; NSE mensal igual a 0,962) e validação (NSE diário igual a 0,675; NSE mensal igual a 0,795).

CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos, pode-se concluir que:

A implementação do algoritmo GRG não linear utilizando o suplemento Solver do software Excel, apresentou melhor desempenho do que o Evolutionary.

Para essa bacia o modelo apresentou melhor ajuste nas pequenas vazões do que nas altas vazões.

A vazão mensal apresentou melhor ajuste entre a vazão calculada com a observada frente à vazão diária, demonstrando assim uma coerência com a realidade. Este desempenho pode ser verificado pela utilização do coeficiente de Nash-Sutcliffe com precisão obtida na ordem de 0,784 e 0,730, na etapa de calibração e validação do modelo Tank Model, respectivamente.

REFERÊNCIAS

1. ARIFJAYA, Nana Mulyana et al. Application of Tank Model for Predicting Water Balance and Flow Discharge Components of Cisadane Upper Catchment. Jurnal Manajemen Hutan Tropika, v. 17, n. 2, p. 63-70, 2011.

2. CELESTE, Alcigeimes B.; MENEZES, Thiago; FONTES, Vanderlan. Modelagem do processo chuva-vazão pelo Tank Model e por redes neurais artificiais na bacia do rio Japaratuba, Sergipe. Scientia Plena, v. 10, n. 7, 2014.

3. COSTA, Isabella Almeida; HONÓRIO, Michelle da silva. Modelagem do processo chuva-vazão na bacia hidrográfica do ribeirão santa bárbara em goiás. Tecnia, v. 5, n. 1, p. 102-118, 2020.

4. DINGMAN, S. Lawrence. Physical hydrology. Waveland press, 3 ed., 2015.

5. LARA, Pedro Guilherme; KOBIYAMA, Masato. Proposta de modelo conceitual: PM Tank Model. Revista Brasileira de Recursos Hídricos,(3), p. 149-161, 2012.

6. NUNES, Francisco Miquéias Sousa et al. Aplicação do Tank Model para estimativa mensal de vazões na bacia hidrográfica do rio Piancó. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, v. 9, n. 1, p. 49, 2014.

7. PEREIRA, T.S.R.; SANTOS, K.A.; SILVA, B.F.; FORMIGA, K.T.M; SOARES, A.K. Desenvolvimento de um modelo chuva-vazão via Tank Model e calibração automática. Revista Eletrônica de Engenharia Civil, v. 11, n. 3, p 17-28, 2016,

8. SEMAD - Secretaria de estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Planilhas de dados: usos por bacias hidrográficas. Disponível em: https://www.meioambiente.go.gov.br/ component/content/article/120-meio-ambiente/outorga-de-%C3%A1gua/1063-planilhas-de-dados-usos-por-bacias-hidrograficas.html?Itemid=101. Acesso em 12 de agosto de 2021.

9. SUGAWARA, M. Automatic calibration of the Tank Model. Hydrological

10. Science Bulletin, v. 24, n. 3, p. 375-388, 1979.

11. XAVIER, A. C.; KING, C. W.; SCANLON, B. R. Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980–2013). International Journal of Climatology, v. 36, n. 6, p. 2644-2659, 2015.

CAPÍTULO 13

UTILIZAÇÃO DE BAMBU "DENDROCALAMUS LATIFLORUS" COMO CAMADA SUPORTE EM FILTRO ANAERÓBIO PARA REMOÇÃO DE DBO E DQO EM TRATAMENTO DE EFLUENTES SANITÁRIO

Data de aceite: 01/04/2022
Data de submissão: 24/02/2022

Fagner Moreira de Oliveira
Companhia de Saneamento de Minas Gerais – COPASA MG
Pouso Alegre – MG
http://lattes.cnpq.br/5553480405951787

Adão Genilson Pereira
Companhia de Saneamento de Minas Gerais – COPASA MG
Pouso Alegre – MG

RESUMO: Os resultados de remoção de DBO e DQO em filtro anaeróbio utilizando bambu são apresentados e discutidos neste trabalho. O estudo realizado em uma estação de tratamento de esgoto em escala real. A estação é equipada com tanque séptico combinado com filtro anaeróbio. Uma camada suporte de bambu foi desenvolvida no filtro para formação de biofilme visando o desenvolvimento bacteriano. A avaliação foi realizada por um período de 12 meses e, com camada suporte proposta, a estação de tratamento de esgoto atingiu uma eficiência de 94,92% e 95,12% na remoção de DBO e DQO respectivamente.
PALAVRAS-CHAVE: Tratamento de efluentes, remoção de DBO e DQO, filtro anaeróbio, camada suporte, bambu.

USE OF BAMBOO "DENDROCALAMUS LATIFLORUS" AS A SUPPORT LAYER ON AN ANAEROBIUM FILTER APPLIED FOR THE REMOVAL OF DBO AND DQO ON THE TREATMENT OF SANITARY WASTEWATERS

ABSTRACT: The results for the removal of BOD and COD in an anaerobic filter using bamboo are shown and discussed in this work. The study was carried out in a full-scale sewage treatment plant. The station was equipped with a septic tank combined with an anaerobic filter. A bamboo support layer was developed on the filter for biofilm formation aiming at bacterial growth. The evaluation was carried out for a 12 months period and, with the proposed support layer, the sewage treatment station reached an efficiency of 94.92% and 95.12% on the removal of BOD and COD respectively.
KEYWORDS: Wastewaters, DBO and DQO removal, anaerobic filter, support layer, bamboo.

INTRODUÇÃO

A preocupação com o meio ambiente vem aumentando à medida que ações antrópicas causam alterações nos recursos hídricos. Mesmo conhecendo que houve melhora de indicadores na cobertura da população com atendimento de sistemas de esgotamento sanitário ainda há um caminho longo a se percorrer na busca e implementação de instalações compactas, de operação estável que minimizem os impactos ambientais por lançamento de efluentes em corpos receptores (Oliveira, 2014; Chernicharo,

2016).

Sistemas Anaeróbios podem apresentar uma eficiência significativa na remoção de matéria orgânica e poluentes, além de ocupar um espaço compacto, ser resistente a choques de carga, temperatura e toxicidade (Arvin e Harremöes, 1990). De acordo com Camargo (2001), o uso de anéis de bambu em sistemas anaeróbios pode promover a remoção de 40 a 80% da demanda química de oxigênio.

Neste trabalho são avaliadas as remoções de DBO e DQO do efluente fazendo uso de bambu do tipo Dendrocalamus latiflorus como camada suporte, confeccionados na forma de malhas, em filtro anaeróbio em uma estação de tratamento de esgoto que combina este tipo de tratamento posterior à tanque séptico.

OBJETIVO DO TRABALHO

Avaliar a eficiência da remoção de DBO e DQO utilizando bambu Dendrocalamus latiflorus como camada suporte em filtro anaeróbio.

METODOLOGIA UTILIZADA

O estudo foi desenvolvido em escala real em uma Estação de Tratamento de Esgoto no sul de Minas Gerais, com capacidade de tratamento de 0,6 L/s composta por tratamento preliminar, tanque séptico e filtro anaeróbio. O uso do bambu como camada suporte no filtro anaeróbio da estação foi em decorrência da análise de resultados referente ao período de ago/2018 a fev/2019 de um filtro que não apresentava eficiência na remoção de DBO e DQO (Demanda Bioquímica e Química de Oxigênio respectivamente) utilizando brita número 2 conforme figuras 1 e 2.

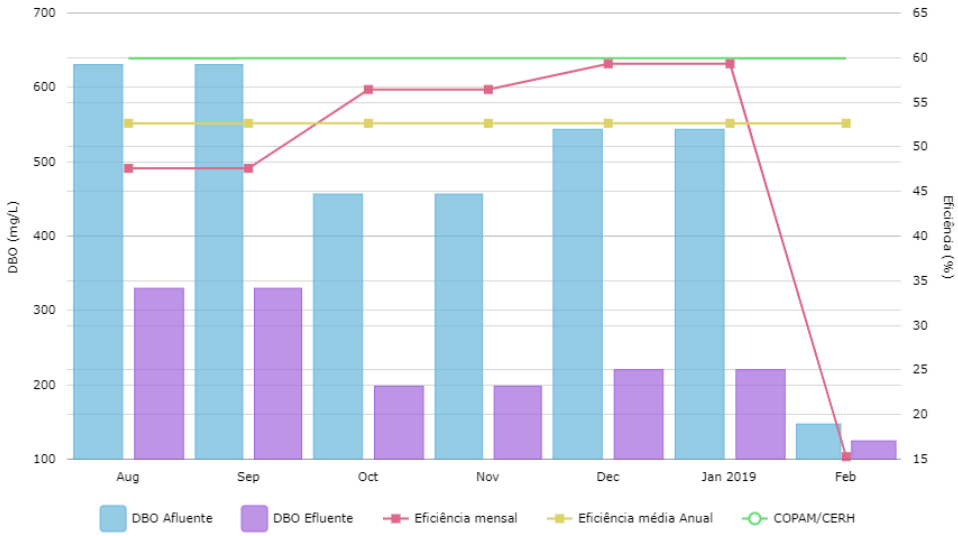

Fig. 01 – Avaliação da remoção de DBO: ago/2018 a fev/2019.

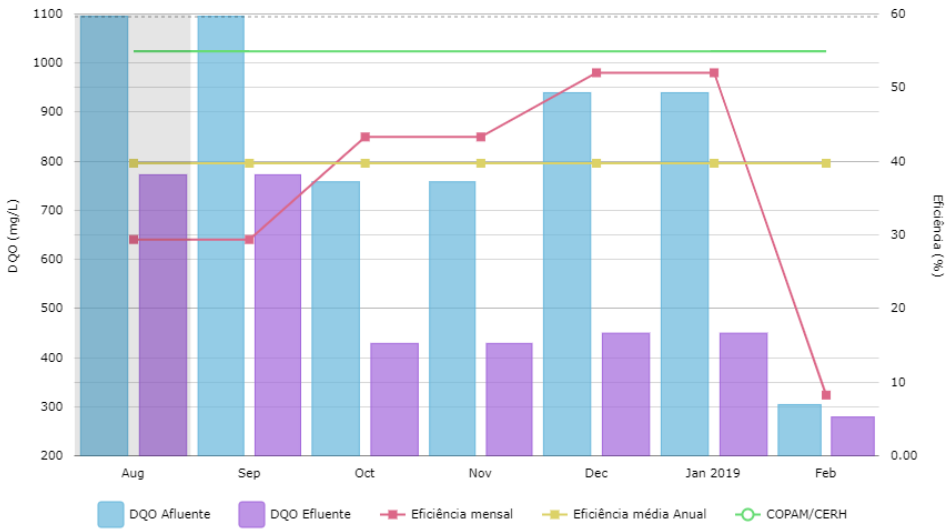

Fig. 02 - Avaliação da remoção de DQO: ago/2018 a fev/2019.

Em fevereiro de 2019 foi retirado a camada suporte de brita e construída a nova camada com varas de bambu conforme figura 3. As varas de bambus foram furadas alternadamente na forma de cruzeta utilizando uma broca de 15 mm de diâmetro com espaçamentos de aproximadamente 25 cm de distância entre os furos para percolação do efluente e formação de biofilme. Essas varas foram instaladas alternadamente na forma de malhas conforme esquema apresentado na figura 03, com altura aproximada de 1,20m.

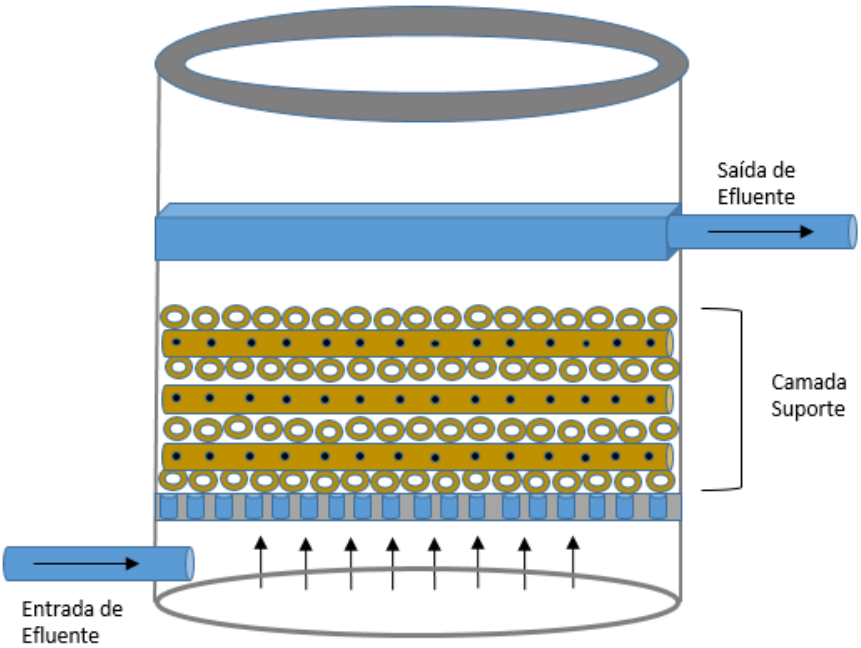

Fig. 03 – Esquema de montagem da camada suporte de bambu e fluxo do efluente.

RESULTADOS OBTIDOS

Após a conclusão da camada suporte em fev/2019, com menos de 30 (trinta) dias foi observado o surgimento de biofilme nas amostras de bambu analisadas. Logo nos primeiros ensaios em março de 2019 a ETE já apresentou eficiência significativa, chegando a alcançar eficiência nas remoções de DBO e DQO, respectivamente de 94,92 % e 95,12% conforme figuras 04 e 05. Durante o período apresentado, a ETE permaneceu com uma eficiência média de 87,39% para remoção de DBO, enquanto para DQO o resultado foi de 86,04%. Os Resultados obtidos durante o período de estudo são apresentados na tabela 01.

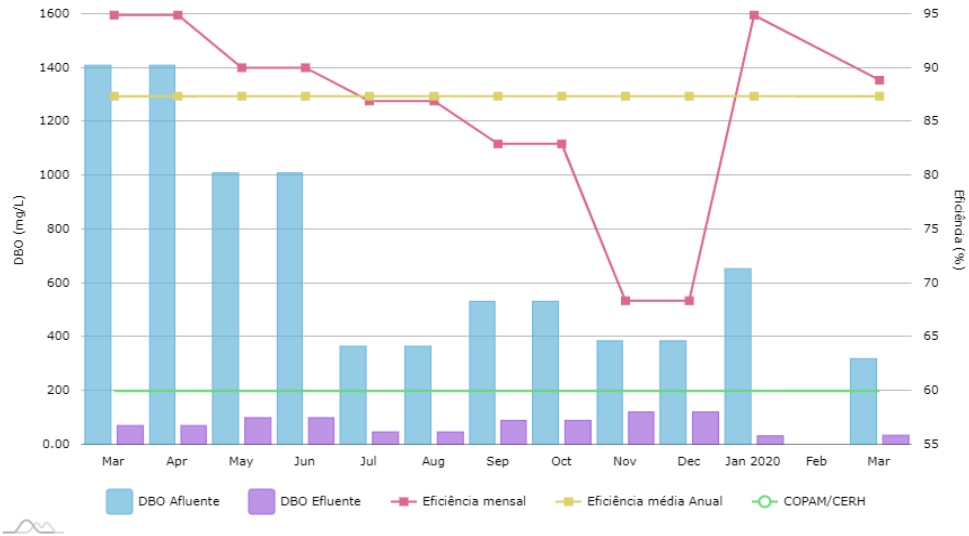

Fig. 04 – Avaliação da remoção de DBO: mar/2019 a mar/2020.

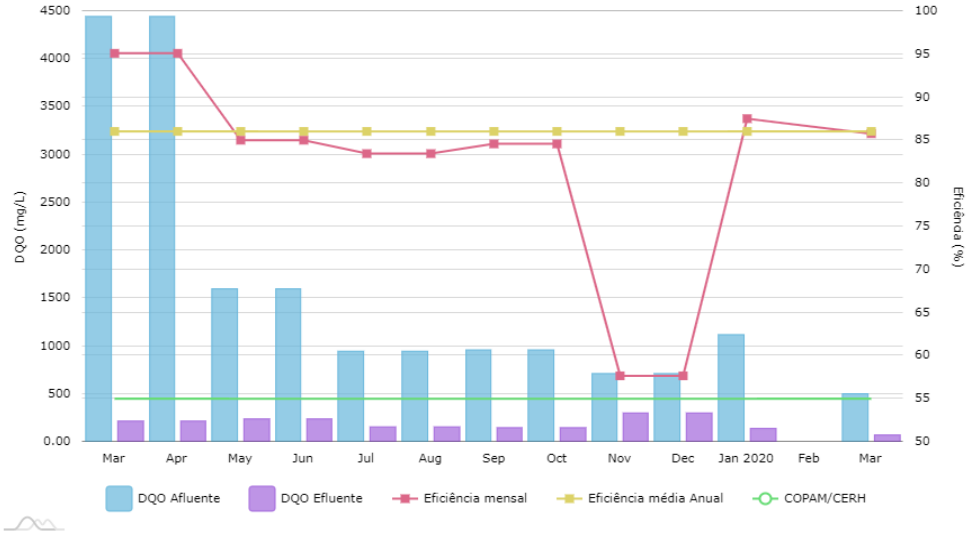

Fig. 05 – Avaliação da remoção de DQO: mar/2019 a mar/2020.

Período	Vazão média	DBO média Afluente	DBO média Efluente	DQO média Afluente	DQO média Efluente	Sólidos Sedimentáveis no Efluente	Eficiência média de remoção de DBO	Eficiência média de remoção de DQO
	(L/s)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(ml/L)	%	%
ago/18	0,40	631,30	330,50	1.096,40	773,50	2,0	47,65	29,45
out/18	0,55	457,20	198,90	759,10	429,90	0,1	56,50	43,37
dez/18	0,50	544,30	221,10	940,70	450,70	0,5	59,38	52,09
fev/19	0,50	148,00	125,30	305,30	279,90	0,1	15,34	8,32
mar/19	0,60	1410,30	71,70	4.445,00	216,90	0,1	94,92	95,12
mai/19	0,57	1010,50	100,70	1.599,00	239,50	0,1	90,03	85,02
jul/19	0,60	366,10	47,80	947,00	156,50	0,1	86,94	83,47
set/19	0,60	533,30	90,90	960,80	148,00	0,5	82,96	84,60
nov/19	0,90	386,38	122,15	713,50	302,00	0,3	68,39	57,67
jan/20	0,60	654,36	33,27	1.120,10	139,75	1,0	94,92	87,52
mar/20	0,60	320,41	35,66	502,75	71,50	0,1	88,87	85,78

Tabela 01 - Avaliação da remoção de demanda bioquímica e demanda química de oxigênio.

ANÁLISE DOS RESULTADOS

A espécie de bambu utilizada apresentou eficiência na remoção de DBO e DQO de forma significativa em um curto espaço entre sua instalação e a realização das análises. Esse material, que na região do sul de Minas Gerais é encontrado facilmente, pode ser aplicado a um custo muito baixo. Percebe-se que sua estrutura favorece a formação da camada de biofilme em seu leito garantindo uma hábil remoção de matéria orgânica. Logo no início dos trabalhos percebe-se valores elevados para os parâmetros analisados na entrada da ETE, sendo investigada a ação antrópica e, ainda assim, no efluente tratado os dados são favoráveis mantendo uma constância durante todo período. Vale ressaltar que mesmo em períodos chuvosos onde ocorrem contribuições de águas pluviais no esgoto, diminuindo as concentrações de matéria orgânica na chegada da Estação de Tratamento, houve atendimento das legislações Estadual e Federal.

CONCLUSÕES/RECOMENDAÇÕES

O baixo custo e o uso da espécie de bambu Dendrocalamus latiflorus como camada suporte se mostrou eficiente e trouxe a Estação de Tratamento de Esgoto para o atendimento de padrões de lançamento estabelecidos pela Conselho Estadual de Política Ambiental e Recursos Hídricos (COPAM/CERH) garantindo assim a preservação de recursos hídricos.

REFERÊNCIAS

Arvin, E. E.; Harremöes, P. **Concepts and models for biofilm reactor performance** - Water Sci. Technol, vol. 22, p. 171 – 192, 1990.

Camargo, S. A. R; Nour, E. A. A., **Bamboo as an anaerobic medium: effect of filter column height**, Water Sci Technol, v. 44, p. 63–70, 2001.

Chernicharo, C. A. L. **Reatores anaeróbios**, 2. ed. ampl. e atual. Belo Horizonte, UFMG, 2016.

Oliveira, F. M. et al. **Assessment of cadmium and iron adsorption in sediment, employing a flow injection analysis system with on line filtration and detection by flame atomic absorption spectrometry and thermospray flame furnace atomic absorption spectrometry**. Analytica Chimica Acta, v. 809, p. 82-87, 2014.

CAPÍTULO 14

DEGRADAÇÃO DE ANTIDEPRESSIVOS RESIDUAIS E CAFEÍNA EM ÁGUA, ESGOTO DOMÉSTICO E LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO EMPREGANDO FOTÓLISE DIRETA

Data de aceite: 01/04/2022
Data de submissão: 07/02/2022

Ismael Laurindo Costa Junior
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Câmpus Medianeira
Medianeira – PR
http://lattes.cnpq.br/8830429960630659

Adelmo Lowe Plestch
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Câmpus Santa Helena
Santa Helena– PR
http://lattes.cnpq.br/1731491755917260

Yohandra Reyes Torres
Universidade Estadual do Centro-Oeste
Guarapuava– PR
http://lattes.cnpq.br/9724560887352587

RESUMO: Atualmente a presença de produtos farmacêuticos no meio ambiente é um tema que requer atenção, tendo em vista o risco ecotoxicológico sobre a biota. As tecnologias convencionais utilizadas em estações de tratamento tanto de água quanto esgoto não são eficientes para remover estes resíduos e os efeitos dessas substâncias não são bem conhecidos. Assim, estudou-se a degradação da cafeína e seis antidepressivos de amplo uso popular (venlafaxina, citalopram, fluoxetina, sertralina e amitriptilina) por fotólise direta. Foram realizados ensaios de degradação empregando um reator de bancada com capacidade para 100 mL equipado com fonte artificial de radiação composta por uma lâmpada de vapor de mercúrio de alta pressão (254 nm) e insolação natural. As soluções aquosas foram preparadas em água destilada e esgoto tratado na concentração de 5 mg L^{-1} e o pH 4. As determinações analíticas foram realizadas em espectrofotômetro UV-VIS duplo feixe e cromatografia líquida com detecção por fotodiodos. Os dados experimentais foram ajustados a modelos cinéticos a fim de obter as taxas de reação e o tempo de meia-vida nas condições estudadas. Foi observada maior degradação em matrizes complexas como esgoto e águas superficiais, indicando que a persistência depende também de espécies dissolvidas capazes de fazerem parte dos mecanismos de degradação. A cinética que aparentemente descreve a fototransformação dos compostos nas condições estudadas foi a de pseudo-primeira ordem. Os resultados apontam aplicação da fotólise direta como promissora para a degradação dos antidepressivos e cafeína em soluções aquosas contaminadas. Os resultados obtidos empregando luz solar sugerem a persistência dos microcontaminantes investigados quando expostos apenas a esta fonte de radiação no ambiente. A incidência de radiação solar varia com as estações do ano e a condição meteorológica, criando cenários específicos em que a possibilidade de fotólise natural é variável ou incerta.

PALAVRAS-CHAVE: Poluentes emergentes; Fármacos; Persistência; Tratamento; Fotodegradação.

DEGRADATION OF RESIDUAL ANTIDEPRESSANTS AND CAFFEINE IN WATER, SEWAGE AND SLUDGE FROM TREATMENT STATION USING DIRECT PHOLYSIS

ABSTRACT: Currently, the presence of pharmaceuticals in the environment is a topic that requires attention, in view of the ecotoxicological risk on the biota. Conventional technologies used in both water and sewage treatment plants are not efficient to remove these residues and the effects of these substances are not well known. Thus, the degradation of caffeine and six widely used antidepressants (venlafaxine, citalopram, fluoxetine, sertraline and amitriptyline) was studied by direct photolysis. Degradation tests were conducted using a benchtop reactor with a capacity of 100 mL equipped with an artificial source of radiation composed of a high-pressure mercury vapor lamp (254 nm) and natural insolation. The aqueous solutions were prepared in distilled water and treated sewage at a concentration of 5 mg L^{-1} and pH 4. Analytical determinations were conducted in a double beam UV-VIS spectrophotometer and liquid chromatography with photodiode detection. Experimental data were fitted to kinetic models to obtain reaction rates and half-life under the conditions studied. Greater degradation was observed in complex matrices such as sewage and surface waters, indicating that persistence also depends on dissolved species capable of being part of the degradation mechanisms. The kinetics that describes the phototransformation of the compounds under the conditions studied was pseudo-first order. The results point to the application of direct photolysis as promising for the degradation of antidepressants and caffeine in contaminated aqueous solutions. The results obtained using sunlight suggest the persistence of the investigated microcontaminants when exposed only to this source of radiation in the environment. The incidence of solar radiation varies with the seasons and weather conditions, creating specific scenarios in which the possibility of natural photolysis is variable or uncertain.
KEYWORDS: Emerging pollutants; Drugs; Persistence; Treatment; Photodegradation.

1 I INTRODUÇÃO

O estudo de poluentes emergentes nos ecossistemas ainda é recente, com isso, o conhecimento dos mecanismos envolvidos na sua introdução e os possíveis meios de tratamento ou remediação visando à redução dos impactos ambientais necessitam de maior investigação (COSTA JUNIOR et al., 2014). A presença dos poluentes emergentes em termos de concentrações efetivas nas diversas matrizes ambientais depende diretamente da eficiência dos processos de tratamentos aplicados às águas residuárias nas estações de tratamento, uma vez que o despejo de esgotos domésticos e industriais nas águas superficiais é apontado como uma das principais rotas de dispersão dos contaminantes emergentes, em especial os fármacos.

Os métodos de tratamento amplamente empregados nas estações de tratamento de esgotos são baseados unicamente em processos convencionais (operações físicas e bioquímicas), voltados à estabilização da matéria orgânica, remoção de nutrientes e desinfecção. Com isso, a degradação efetiva destes novos contaminantes é praticamente inexistente (SUBEDI et al., 2013).

Alguns estudos têm sugerido a remoção de fármacos residuais, incluindo cafeína, antidepressivos e seus metabolitos, no esgoto tratado, mediante a avaliação de parâmetros de entrada e saída em sistemas de tratamento biológico (SIM et al., 2010; VERLICCHI et al., 2012). Contudo, outras pesquisas têm indicado apenas a transferência dos poluentes para o lodo e sedimentos por mecanismos de sorção, não ocorrendo degradação ou tratamento efetivo.

Os principais estudos que discutem a remoção dos fármacos residuais em águas residuárias reportam como tecnologias mais promissoras a ozonização, sorção, radiação UV e oxidação Fenton (HORSING et al., 2012; HYLAND et al., 2012; LAJEUNESSE et al., 2013). Contudo, os custos destes recursos são muito elevados, o que implica na necessidade de desenvolver técnicas igualmente eficazes, mas de menor impacto financeiro e de maior acessibilidade.

Alguns sistemas de tratamentos convencionais, baseados em lagoas de estabilização, apresentam como característica uma grande área superficial susceptível a incidência de radiação solar, assim como o método de cura dos biossólidos produzidos durante o tratamento que ocorre em leito de secagem ao sol. Com isso a radiação UV natural pode ser considerada uma possível fonte de degradação destes fármacos mediante a ocorrência do processo de fotólise.

Estudos recentes têm demonstrado que micropoluentes farmacêuticos são susceptíveis a fotodegradação nos compartimentos. Caso não sejam removidos por outros meios químicos, podem ser expostos a reações fotoquímicas em águas superficiais iluminadas pelo sol na presença de matéria orgânica, oxigênio dissolvido e outras espécies reativas (ANDREOZZI et al., 2003; BOREEN et al., 2003; LAM et al., 2004; LAM et al., 2005).

A maior parte das pesquisas sobre os efeitos da radiação UV buscam elucidação dos mecanismos fotoquímicos envolvidos na persistência e destino dos fármacos no ambiente natural e em pequenas estações solares de pós-tratamento de esgotos domésticos.

O processo de fotólise ou fotodegradação pode ocorrer de maneira direta ou indireta. A forma direta é observada quando os fótons emitidos com a radiação incidente são absorvidos pela molécula do fármaco promovendo a clivagem de ligações químicas. Na forma indireta, algumas moléculas presentes no meio são excitadas pela radiação incidente e, após a quebra das mesmas, um elétron permanece em cada fragmento com a formação de radicais que podem agir na degradação dos microcontaminantes ou no acréscimo de novos grupos funcionais na estrutura original (ANDREOZZI et al., 2003; ALAPI e DOMBI, 2007; KEEN et al., 2014).

Assim, nesta pesquisa foi proposta a avaliação da fotólise artificial e natural aplicada à degradação de cinco antidepressivos de uso comum e da cafeína em meio aquoso e lodo de estação de tratamento, tendo em vista a susceptibilidade dessas moléculas orgânicas à interação com a radiação ultravioleta e a escassez de informações sobre o destino desses

compostos nos compartimentos ambientais.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Amostras de esgoto e lodo de estação de tratamento

Para o estudo foram utilizadas amostras de esgoto doméstico tratado por Reator anaeróbio de Leito Fluidificado (RALF) e lodo úmido gerado no processo, coletados na cidade de Medianeira-PR (S 25°17'11,2''; W 54°6'5"). As amostras líquidas foram colhidas manualmente na saída do reator) na quantidade de 5L acondicionada em frasco de vidro. As amostras sólidas tomadas com auxilio de pá em saco plástico na quantidade de 5 kg junto ao leito de secagem . Ambos os recipientes foram previamente esterilizados e após coleta mantidos sob refrigeração. Em laboratório, a amostras de esgoto tratado foram filtradas e lodo de esgoto foi desagregado. Ambas foram preservadas congeladas até o momento dos uso.

2.2 Reagentes, padrões e soluções

A cafeína (CAF) e os antidepressivos citalopram (CIT), venlafaxina (VEN), fluoxetina (FLU), sertralina (SER) e amitriptilina (AMI) foram adquiridos na forma de padrões comerciais para farmácias de manipulação com pureza de 99,98%. Foram preparadas soluções estoques individuais dos analitos em metanol na concentração de 100 μg mL^{-1} e conservadas a 4ºC. Os solventes empregados foram acetonitrila (TEDIA), metanol (TEDIA), com grau de pureza cromatográfico e a água ultrapura obtida pelo sistema Human UP 900. Os demais reagentes foram dietilamina (Synth), o ácido clorídrico (Alphatec), hidróxido de sódio (Synth), cloreto de sódio (Synth), todos com grau de pureza analítico.

Nos ensaios de degradação em água e esgoto foram utilizadas soluções individuais dos analitos na concentração de 5 μg mL^{-1} com pH ajustado a 4. Nas amostras de lodo foram adicionadas alíquotas da solução estoque à suspensão perfazendo 5 μg g^{-1}

2.3 Condições cromatográficas e avaliação espectrofotométrica

Utilizou-se um sistema cromatográfico (CLAE) acoplado a um detector por arranjo de diodos (DAD) Waters™ 2696 com lâmpada de deutério e faixa de operação de 190 a 800nm. Os analitos foram separados em coluna Phenomenex Luna C18 (4,6 × 150 mm, 5μm), à temperatura de 30°C e injeção de 20 μL e com vazão constante de 0,8 mL min^{-1}. A eluição foi realizada com fase móvel composta de acetonitrila 70% (v/v) e dietilamina 2,0 mmol L^{-1} (pH≈11) 30% (v/v) com tempo de corrida de 10 min.

A avaliação espectrofotométrica dos analitos ocorreu em espectrofotômetro Perkin Elmer Lambda 45 de feixe duplo. Os fármacos foram monitorados na faixa 400 a 200nm com resolução de 2 nm. Foram utilizadas cubetas de quartzo com caminho óptico de 1 cm. Foram preparadas curvas analíticas na faixa de 1 a 5 μg mL^{-1}. Para avaliação da interação

dos analitos com a radiação UV por meio do cálculo do coeficiente de absorção molar segundo a Lei de Beer-Lambert (Equação 1).

$$A_\lambda = \varepsilon_\lambda . b . c \qquad \text{Eq. 1}$$

Onde: A_l corresponde a absorbância em um comprimento de onda λ, ε_λ a absortividade molar (L mol^{-1} cm^{-1}), b o caminho óptico (cm) e c a concentração (mol L^{-1}).

2.4 Experimento de fotodegradação

Para os experimentos de fotólise artificial foi utilizado um reator operando em sistema batelada, constituído por um béquer com capacidade de 100 mL e um agitador magnético para homogeneização. O reator foi posicionado no interior de uma caixa de madeira (80 cm x 40 cm x 60 cm) revestida por papel alumínio para aumentar a incidência da radiação e equipada com uma fonte de radiação UV (lâmpada de alta pressão de vapor de mercúrio sem o bulbo - 250 W) com pico de emissão em 254 nm fixada na parte superior a cerca de 20 cm de distância da solução (Figura 1a). A temperatura interior, devido à radiação gerada pela lâmpada, após 20 min mantinha-se em torno de 45°C. Após início de operação, foram colhidas alíquotas da solução em oito intervalos durante 60 min de monitoramento.

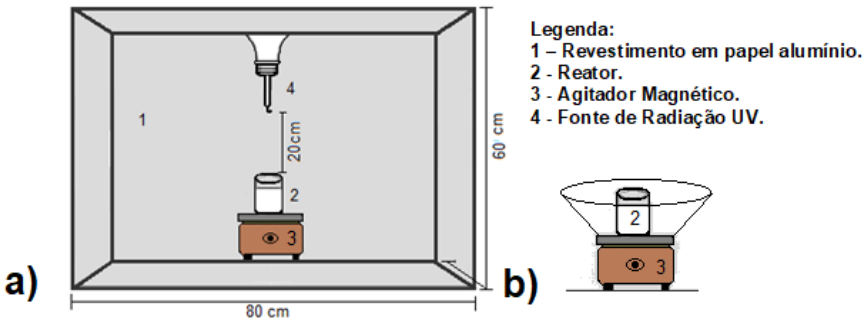

Figura 1.Sistemas utilizados a) para fotólise artificial e b) fotólise natural.

Nos experimentos usando a radiação solar foram mantidos o béquer e o agitador e colocados em um local de ampla insolação nos horários de pico de emissão dos raios UV (10 às 16h). Os experimentos foram realizados no mês de julho de 2016 onde taxa de incidência de UV foi de aproximadamente 100 a 125 mW m^{-2} (INPE, 2016). Para aumentar a incidência foi adaptado um recipiente em formato de tronco de cone e revestido de papel alumínio (Figura 1b). Tendo em consideração a menor incidência de radiação solar quando comparada à lâmpada de vapor de mercúrio, nestes ensaios foi mantido um tempo de 360 min com a retirada de alíquotas a cada 30 min.

Foram realizados ensaios com os analitos em água ultrapura e adicionados à amostra de esgoto e de lodo de estação de tratamento em duplicatas experimentais e as medições em triplicatas analíticas.

2.4.1 Cinética de Fotodegradação

A degradação de compostos farmacêuticos por radiação UV tem sido reportada na literatura. A fotólise parece ser o principal processo de eliminação no meio ambiente, na qual os compostos em fase aquosa podem ser parcialmente transformados em diferentes subprodutos por irradiação (ISIDORI *et al.*, 2005).

Nesse sentido, a determinação da relação entre a taxa de fotodegradação dos micropoluentes e suas respectivas concentrações (ordem da reação) é uma etapa importante no estudo da cinética dessas reações químicas. Entende-se por ordem da reação a dependência da velocidade da reação com a concentração. Sendo C_0 a concentração inicial do reagente, e C a concentração do reagente decorrido um tempo t de reação. Se dC/dt obedecer à Equação 2, n será a ordem da reação.

$$\frac{dC}{dt} = -k.C^n \qquad \text{Eq. .2}$$

Nos casos de $n = 0$ (reação de ordem zero) e $n = 1$ (reação de ordem um, ou de primeira ordem), a Equação 1 conduzirá, respectivamente, às Equações 3 e 4.

$$C = C_0 - k_0.t \qquad \text{Eq. 3}$$

$$\ln C = \ln C_0 - k_1.t \;\therefore C = C_0.e^{-k_1 t} \qquad \text{Eq. 4}$$

Em estudos de fotodegradação envolvendo micropoluentes orgânicos, empregados na avaliação da persistência e susceptibilidade à radiação ultravioleta, os modelos representados nas equações 2 e 3 são comumente aplicados para avaliação cinética (OPPENLNDER, 2002; OPPENLÄNDER, 2003; CARLSON *et al.*, 2015).

Os dados experimentais obtidos nos ensaios de degradação foram ajustados a estes modelos tendo em vista a avaliação de seu decaimento ao longo do tempo de experimento, bem como para determinação do tempo de meia-vida para cada analito segundo as Equações 5 e 6.

$$t_{\frac{1}{2}} = \frac{C_0}{2K_0} \qquad \text{Eq. 4}$$

$$t_{\frac{1}{2}} = \frac{ln2}{K_1} \qquad \text{Eq. 5}$$

3 I RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Avaliação espectrofotométrica

O comportamento dos espectros de absorção dos antidepressivos e da CAF em diferentes valores de pH e de concentrações permitiu avaliar a eficiência na fotólise direta e também como o pH pode interferir na degradação dos compostos. Com exceção da

CAF, cuja banda máxima ocorre entre 270 e 290 nm, os antidepressivos possuem valores máximos na região de 220 a 250 nm. Ambas as faixas compreendem o ultravioleta médio. A Figura 2 mostra que a absorção de radiação UV pelos analitos varia com o pH.

Foram observados deslocamentos mais acentuados em pH ácido para a AMI, CIP e CAF. Possivelmente a protonação que ocorre sobre os átomos de nitrogênio têm influência direta na disponibilidade eletrônica do grupo amina e propicia a deslocalização de carga em função do momento de dipolo criado pela protonação, o que diminui a energia necessária para transições eletrônicas.

Em geral, as transições eletrônicas π→π* estão associadas a maiores valores de coeficiente de absorção molar que os correspondentes às transições eletrônicas n→π* e, portanto, maior probabilidade de ocorrer. Essas transições podem acontecer em moléculas contendo átomos com pares de elétrons não-ligantes, tais como nitrogênio e oxigênio, e são responsáveis pelas bandas de maior comprimento de onda do espectro de absorção dos fármacos (PARSONS, 2005).

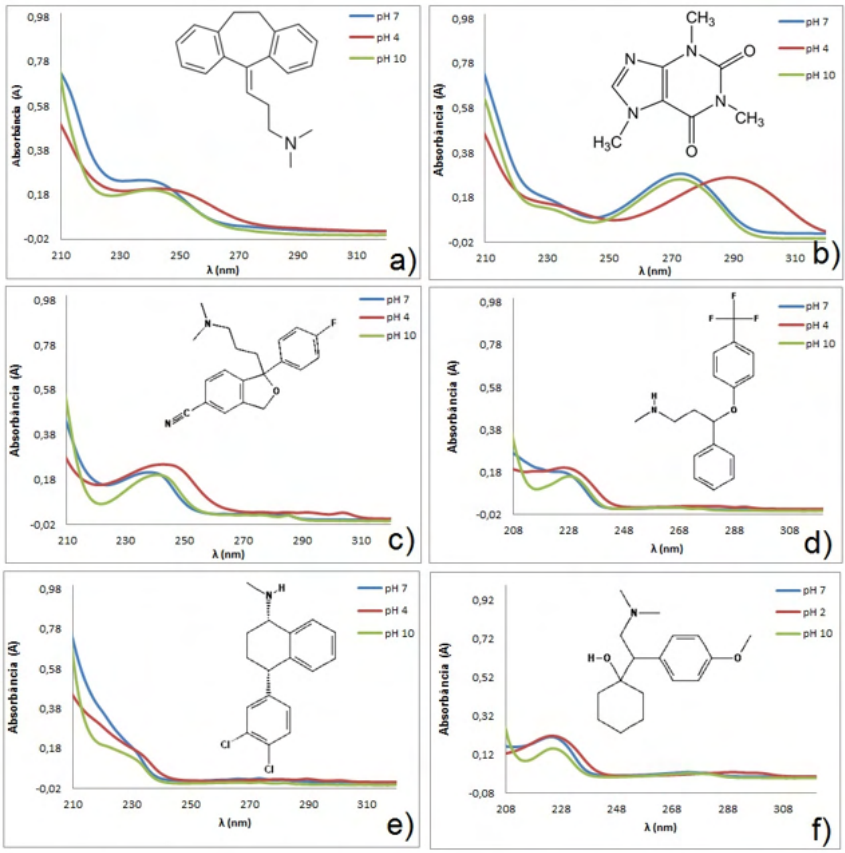

Figura 2. Espectros de absorção UV em solução aquosa com concentração de 5 mg L^{-1}. a) AMI, b) CAF, c) CIT, d) FLU, e) SER e f) VEN.

A absorção dos analitos foi semelhante em todas as condições de pH estudadas. Considerando os comprimentos máximos específicos de cada composto, foram verificados maiores coeficientes para o CIT (e_{238}≈13000 L mol^{-1} cm^{-1}) e os menores para CAF (e_{273}≈9500 L mol^{-1} cm^{-1}). Os demais analitos VEN (e_{226}≈10500 L $mol^{-1}cm^{-1}$), FLU (e_{227}≈10700 L $mol^{-1}cm^{-1}$), SER (e_{225}≈10500 L $mol^{-1}cm^{-1}$), e AMI (e_{240}≈11100 L $mol^{-1}cm^{-1}$) apresentaram valores intermediários e semelhantes entre si.

A faixa de absorção UV verificada experimentalmente e que contém as bandas máximas dos fármacos investigados, encontra-se situada na região UV-C (λ<280nm) do espectro solar.

Esta porção de radiação corresponde apenas a 0,5% da irradiância total que atinge a superfície terrestre e sugere uma baixa capacidade de degradação natural, visto que as altas absorbâncias de fótons nos comprimentos coincidentes com as bandas máximas tendem a levar a maiores taxas de fotodegradação. A utilização de uma lâmpada de vapor de mercúrio de alta pressão intensifica as emissões na faixa UV-C, pois possui picos em 185, 254 e 264 nm (ZHANG *et al.*, 2012). Dessa forma as possibilidades de degradação são ampliadas.

3.2 Estudo de degradação por fotólise direta empregando lâmpada de vapor de mercúrio de alta pressão e luz solar

Na Figura 3 são apresentados os perfis de degradação em termos de porcentagem de remoção com o decorrer do tempo de fotólise para os analitos em solução aquosa, esgoto e lodo úmido. Cada matriz foi fortificada com os analitos na concentração de 5 mg L^{-1} e o pH foi ajustado em 4.

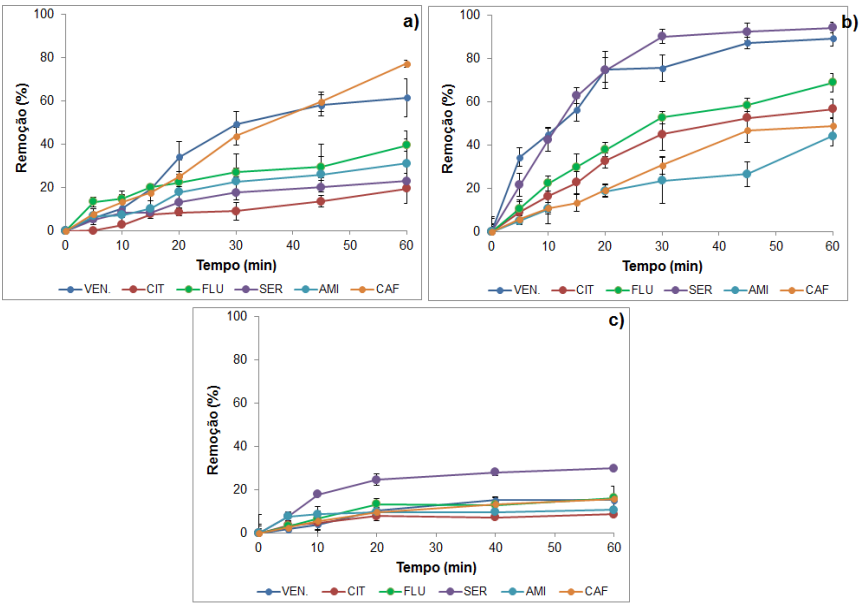

Figura 3. Remoção CAF, AMI, CIT, FLU, SER e VEN em solução aquosa 5 mg L^{-1} e pH 4 empregando fotólise artificial. a) água, b) esgoto fortificado e c) Lodo úmido fortificado.

Foram verificadas maiores remoções dos analitos na presença de esgoto. Em solução aquosa houve maior persistência do CIT com remoções da ordem de 20% e melhor degradação da CAF com cerca de 80% de fotólise. Já no esgoto fortificado, foi verificada a menor remoção para AMI (40%) e a maior para a SER (90%).

Possivelmente a carga de componentes presentes na matriz, devido a sua complexidade, contribui para que mecanismos diferenciados de remoção aconteçam. A matéria orgânica dissolvida pode produzir radical hidroxila (HO·), oxigênio singleto ($^1O_2$), superóxido (O_2^-), peroxila (ROO·), e radicais fenoxila (CANONICA e FREIBURGHAUS, 2001; BUSCHMANN *et al.*, 2005). Com isso, há um incremento de espécies reativas capazes de atacar os analitos, resultando em maior remoção nessa matriz.

Para o lodo úmido, submetido a tratamento de fotólise, foram obtidas remoções inferiores a 25% para todos os analitos, indicando que a água tem relação direta com os mecanismos de fotodecomposição. O processo de fotodegradação pode ocorrer de maneira direta ou indireta. A forma direta é observada quando os fótons emitidos com a radiação incidente são absorvidos pela molécula do fármaco promovendo a clivagem de ligações químicas entre os átomos. Na forma indireta, algumas moléculas presentes no meio são excitadas pela radiação incidente e, após a quebra das mesmas, um elétron permanece em cada fragmento com a formação de radicais que podem agir na degradação dos microcontaminantes (KEEN *et al.*, 2014).

O estudo de degradação empregando as mesmas condições também ocorreu

através da fotólise solar em substituição da lâmpada. A Figura 4 apresenta os percentuais de remoção no tempo para os analitos em solução aquosa, esgoto tratado e lodo. Os experimentos de degradação solar foram monitorados durante 360 minutos no horário de maior incidência de radiação UV (10:00 às 16:00 h) em local de ampla insolação e sob condições meteorológicas favoráveis. Em todas as matrizes foram observadas remoções inferiores a 30%, sendo estes valores substancialmente menores que os obtidos para a fotólise artificial durante 60 min.

A fotólise solar, em amostras de esgoto tratado e fortificado, também foi favorecida assim como no processo empregando fonte artificial de radiação UV, reforçando a possibilidade de componentes desta matriz participar do mecanismo. A CAF apresentou menor fotodecomposição nos experimentos com luz solar, reforçando sua capacidade de persistir nos compartimentos. Este comportamento concorda com as pesquisas voltadas ao emprego da CAF como marcador de poluição recente (BUERGE *et al.*, 2003). Os resultados obtidos indicam a susceptibilidade dos analitos a degradação empregando radiação UV. Com isso, a aplicação de técnicas de tratamento baseadas em formas artificiais dessa radiação pode ser promissora na remoção destes micropoluentes em fase aquosa.

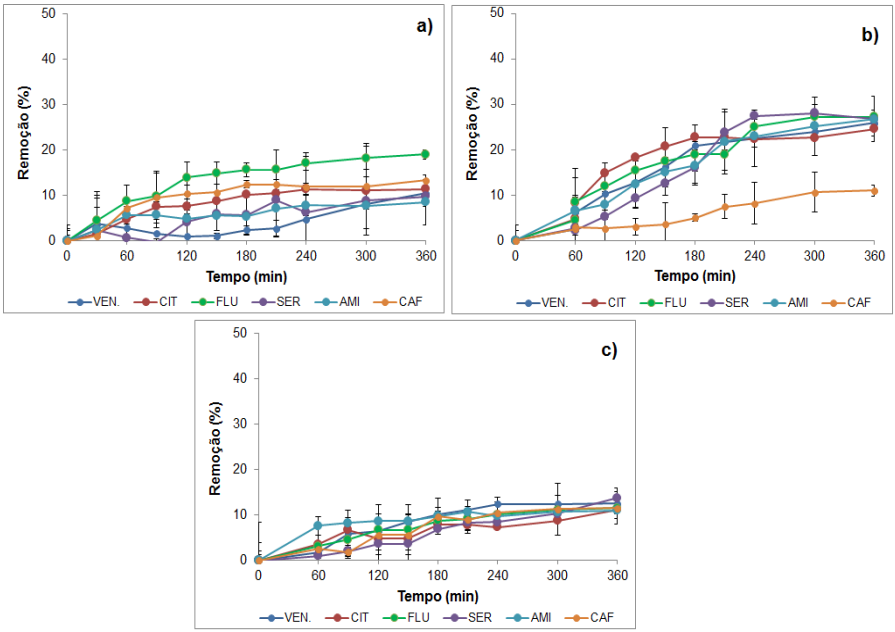

Figura 4. Remoção de CAF, AMI, CIT, FLU, SER e VEN em solução aquosa 5 mg L^{-1} e pH 4 empregando fotólise solar. a) água, b) esgoto fortificado e c) Lodo úmido.

Contudo, os baixos percentuais de remoção observados para a fotólise solar, sugerem persistência da maioria dos fármacos estudados nos ecossistemas. O lodo de

esgoto, apesar da elevada umidade aderida, foi pouco afetado pela radiação fornecida nos dois ensaios, apresentando baixas remoções.

3.3 Cinética de fotodegradação em solução aquosa e esgoto empregando radiação artificial e luz solar

Para um melhor entendimento do processo de fotodegradação dos antidepressivos estudados e da CAF em meio aquoso, os dados experimentais foram ajustados aos modelos cinéticos de pseudo-ordem zero e pseudo-primeira ordem comumente reportados para avaliação de micropoluentes (OPPENLÄNDER, 2003; CARLSON *et al.*, 2015). Após os ajustes foram calculados os valores para a constante cinética por meio de regressão não linear às Equações 2 e 3 e o tempo de meia-vida pelas Equações 4 e 5 (Tabela 1).

	Matriz	Fonte Irradiação	Modelos					
			Pseudo-Ordem Zero			*Pseudo-Primeira Ordem*		
			K_0 *(min^{-1})*	$t_{1/2}$ *(min)*	R^2	K_1 (min^{-1})	$t_{1/2}$ (min)	R^2
CAF	Água	Artificial	0,0500	45,0	92,0	0,0200	34,7	97,0
		Solar	0,0004	6250,0	69,0	0,0005	1540,0	98,0
	Esgoto	Artificial	0,0060	383,0	88,0	0,0010	693,0	95,0
		Solar	0,0020	1300,0	95,0	0,0004	1786,0	99,0
VEN	Água	Artificial	0,070	36,0	95,0	0,0200	35,0	99,0
		Solar	0,002	1400,0	96,0	0,0003	2310,0	96,0
	Esgoto	Artificial	0,070	29,0	74,0	0,0600	12,0	98,0
		Solar	0,005	580,0	89,0	0,0009	770,0	93,0
CIT	Água	Artificial	0,020	123,0	88,0	0,0030	231,0	92,0
		Solar	0,010	245,0	77,0	0,0004	1733,0	95,0
	Esgoto	Artificial	0,050	50,0	89,0	0,0200	35,0	97,0
		Solar	0,005	500,0	74,0	0,0010	693,0	98,0
FLU	Água	Artificial	0,040	60,0	84,0	0,0100	69,0	98,0
		Solar	0,003	850,0	77,0	0,0006	1155,0	89,0
	Esgoto	Artificial	0,060	78,0	91,0	0,0200	35,0	98,0
		Solar	0,005	500,0	90,0	0,0010	693,0	94,0
SER	Água	Artificial	0,020	124,0	91,0	0,0050	139,0	93,0
		Solar	0,001	2800,0	79,0	0,0003	2310,0	97,0
	Esgoto	Artificial	0,060	28,0	69,0	0,0200	35,0	99,0
		Solar	0,004	575,0	94,0	0,0009	770,0	96,0

AMI	Água	Artificial	0,030	83,0	89,0	0,0060	116	93,0
		Solar	0,001	2550,0	82,0	0,0002	3466,0	98,0
	Esgoto	Artificial	0,040	60,0	93,0	0,0100	69,0	98,0
		Solar	0,005	530,0	94,0	0,0010	693,0	97,0

k_0=Constante cinética do modelo de Pseudo-ordem zero; k_1=constante cinética do modelo de Pseudo-Primeira ordem; $t_{1/2}$ = Tempo de meia vida.

Tabela 1. Dados cinéticos para a fotólise das soluções dos fármacos CAF, AMI, CIT, FLU, SER e VEN com concentração inicial de 5 mg L^{-1} e pH 4.

Foram realizados estudos considerando irradiação artificial com lâmpada de vapor de mercúrio de alta pressão e a luz solar natural, bem como as soluções em água pura e esgoto tratado.

Em todos os cenários propostos houve melhor ajuste dos dados experimentais ao modelo de pseudo-primeira ordem, pois os valores de R^2 variaram de 89 a 99%, sendo portanto superiores aos do modelo de pseudo-ordem zero (Tabela 1). A indicação deste modelo concorda com diversos estudos preliminares empregando fotodegradação de fármacos em meio aquoso (STURINI *et al.*, 2010; LI *et al.*, 2011; KHALEEL *et al.*, 2016). A reação de primeira ordem possui uma taxa de reação diretamente proporcional à concentração do reagente, com isso a fotólise é dependente da concentração inicial do micropoluente.

As constantes cinéticas foram mais elevadas nos ensaios com esgoto e irradiação artificial para todos os analitos (com exceção da CAF). Este comportamento possui relação direta com a potência radiante da lâmpada, superior a solar nas condições experimentais e também à presença de outras substâncias contidas no esgoto, mesmo após o tratamento, que contribuem para a maior taxa de reação.

Para a avaliação do tempo de meia-vida são consideradas quatro classes, sendo degradações rápidas quando os valores se apresentam entre 0 e 60 min, moderadas de 60 a 300 min, lentas 300 a 1440 min e estáveis acima de 1440 min (BLUM, 2013). Houve predominância de fotodegradações rápidas e moderadas com o emprego da fonte artificial de irradiação, enquanto para a luz solar foram verificadas fototransformações lentas e estáveis o que sugere a permanência desses micropoluentes nos compartimentos ambientais.

Para a CAF foram observados tempos de meia-vida de 34 min na fotólise artificial em água e 1540 min na solar com a mesma matriz. Já em esgoto os valores foram 693 e 1786 min respectivamente para artificial e solar. Os valores sugerem maior persistência deste composto em esgoto e em condições de insolação, o que reitera sua potencialidade como marcador de poluição antropogênica.

Efeito semelhante foi observado em um estudo de fotodegradação da CAF em

presença de ácidos fúlvicos. Foram irradiadas soluções aquosas na concentração de 2 mg L^{-1} e pH 7 em simulador de luz solar com lâmpada de xenônio de 500 W (l_{max}=290 nm). As constantes cinéticas obtidas nestas condições variaram de 0,0001 a 0,00015 min^{-1} e o tempo de meia-vida foi de aproximadamente 9000 min (JACOBS *et al.*, 2012). A fotodegradação da CAF também foi avaliada em um reator de quartzo com lâmpada imersa de vapor de mercúrio com 50 mW cm^{-2} (λ<350 nm) empregando solução do analito à 50 mg L^{-1}. Também foi verificada uma cinética de pseudo-primeira ordem com constante cinética de 0,0004 min^{-1} e tempo de meia-vida de 1925 min^{-1} (MARQUES *et al.*, 2013).

Na cinética de pseudo-primeira ordem para a VEN observou tempos de meia-vida de 35 min (k_1= 0,02 min^{-1}) na fotólise artificial e 2310 min (k_1= 0,0003 min^{-1}) na solar em água. No esgoto os valores foram 12 min (k_1= 0,06 min^{-1}) e 770 min (k_1= 0,0009 min^{-1}) respectivamente para artificial e solar. Dentre os compostos estudados a VEN foi a que apresentou maior degradação em todos os cenários testados.

A avaliação da fotodegradação da VEN em águas superficiais na concentração de 3 µg L^{-1} e pH 6,5 por meio de irradiação artificial com lâmpada de vapor de mercúrio de 150 W (l<290 nm) e luz solar natural também apresentou cinética de pseudo-primeira ordem com valores de k_1 variando de 0,0004 a 0,0002 min^{-1}, respectivamente. A meia-vida observada foi de 1580 min para lâmpada de vapor de mercúrio e 3456 min para irradiação solar (RÚA-GÓMEZ e PÜTTMANN, 2013).

Outro estudo empregando esgoto doméstico sintético enriquecido com 100 mg L^{-1} de VEN em pH 6,5 aplicou fotodecomposição por luz solar simulada. No mesmo foi utilizado um reator composto por lâmpadas de xenônio de 500 W imersas e fotólise UV artificial no mesmo reator por lâmpadas de descarga de mercúrio com emissão na região UV-C do espectro. Os autores reportaram uma cinética de pseudo-primeira ordem em ambos os experimentos, com k_1 de 0,0002 min^{-1} e 0,014 min^{-1}, respectivamente (GIANNAKIS et al., 2016). Considerando a semelhança da matriz testada com o esgoto tratado empregado em nossa pesquisa e as variações no aparato instrumental verifica-se similaridade em termos de ordem de grandeza para os valores de constante cinética em ambos os estudos.

Ao contrário do que foi observado neste estudo, a avaliação da fotólise do CIT em meio aquoso, realizada em pH 9 e utilizando fonte de radiação com emissão maior que 290 nm para simulação de luz solar obteve tempo de meia-vida de 65 dias (KWON e ARMBRUST, 2005). A banda máxima de absorção deste composto encontra-se na região de 240 nm e, portanto, abaixo da faixa de radiação aplicada, o que justificaria a diferença.

Para a FLU foram verificados na fotólise artificial valores de k_1 da ordem de 0,01 ($t_{1/2}$=69 min) para água e 0,02 min^{-1}($t_{1/2}$=69 min) em esgoto. No ensaio com insolação natural para as mesmas matrizes foram obtidos 0,0006 min^{-1} ($t_{1/2}$=1155 min) e 0,001 min^{-1} ($t_{1/2}$=693 min), respectivamente.

A cinética de fotodegradação da FLU em meio aquoso foi estudada em um simulador solar (Chicago, EUA) empregando lâmpada de xenônio com máximo de emissão em 290

nm e potência de 765 W m^{-2}. Nesse estudo obteve-se um tempo de meia vida 3300 min. A cinética descrita foi a de pseudo-primeira ordem com constante de 0,0002 min^{-1} (LAM *et al.*, 2005). Apesar das diferenças operacionais, estes valores são da mesma ordem semelhantes aos obtidos em nosso estudo para a condição em água e insolação natural.

A fotodecomposição da FLU foi estudada em água procedente de lago fortificada com 0,03 mg L^{-1} do analito nos pHs 3, 5 e 9. A solução foi acondicionada em um reator de quartzo irradiado por uma lâmpada UV imersas com potência de 450 W. O tempo de meia vida observado para o pH 5 foi de 8040 min, o que corresponde a um k_1 de 0,00009 min^{-1} (LAUER e ROSS, 2005). Possivelmente os valores inferiores se devem à menor concentração inicial do analito e ao tipo de lâmpada.

Os tempos de meia vida calculados para a SER em água, com exposição às fontes de Radiação UV artificial e natural foram de 139 min (k_1= 0,005 min^{-1}) e 2310 min (k_1= 0,0003 min^{-1}). No esgoto tratado e fortificado, os valores foram menores, 35 min (k_1= 0,02 min^{-1}) e 770 min (k_1= 0,0009 min^{-1}), respectivamente. A cinética observada para a SER foi semelhante à observada para o CIT.

Estudos cinéticos de fotodegradação da SER em concentração de 1 mg L^{-1} foram realizados sob radiação solar simulada usando lâmpada de xenônio e sob radiação solar natural. Foram testadas oito amostras diferentes: esgoto bruto e tratado, de água de abastecimento tratada e não tratada, água de rio, metanol, água ultrapura em pH 3 e 10. Nesta pesquisa também foi verificada maior degradação no esgoto em relação à água de rio e de abastecimento. Considerando o tempo de meia vida, para o esgoto tratado e água em pH 3 expostos à fotólise solar, os valores reportados foram de 7056 min (k_1= 0,0009 min^{-1}) e 9936 min (k_1= 0,00007 min^{-1}) (SLIWKA-KASZYNSKA e JAKIMSKA, 2014).

Um reator fotoquímico comercial Model 400S® (Photochemical Reactors Ltd.), composto por lâmpada imersa e refrigeração, foi utilizado no estudo de degradação da SER 0,045 mg L^{-1} em solução aquosa. Foram verificados tempo de meia vida de 693 min e constante cinética de 0,001 min^{-1} (BRCAR, 2015). A principal diferença observada se deve à baixa concentração inicial empregada e à refrigeração do reator, pois ambos são variáveis que afetam a velocidade reacional.

Para a AMI, a meia vida obtida no processo de fotólise artificial em água foi de 116 min (k_1= 0,006 min^{-1}) e natural de 3466 min (k_1= 0,0002 min^{-1}). Em esgoto foram de 69 min (k_1= 0,01 min^{-1}) e de 693 min (k_1= 0,001 min^{-1}), respectivamente. Este analito foi o que apresentou maior persistência em água quando empregada a luz solar.

O salicilato de metila, 2-fenóxietanol e AMI em meio aquoso foram submetidos a processos oxidativos com radiação ultravioleta individual e combinada com outros agentes químicos. Para a AMI (0,28 mg L^{-1}), no ensaio empregando fotólise direta em reator de vidro termostatizado e acoplado a lâmpada de vapor de mercúrio de baixa pressão de 15 W com emissão monocromática em 254 nm, foram reportadas constantes cinéticas de pseudo-primeira ordem em água ultrapura (k_1= 0,086 min^{-1}), água de reservatório (k_1= 0,046 min^{-1}),

esgoto bruto (k_1= 0,088 min^{-1}) e esgoto tratado (k_1= 0,068 min^{-1}) (BENITEZ et al., 2016).

Embora a literatura atual não apresente valores para as constantes cinéticas e meia vida, em condições idênticas às testadas no nosso estudo, foram observadas algumas semelhanças em termos de ordem de grandeza para a maioria dos analitos estudados. O efeito de componentes da matriz aquosa sobre o aumento da taxa de reação também foi reportado, confirmando que a composição das águas naturais e esgotos tem efeito sobre a fotodecomposição dos micropoluentes investigados

4 I CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo mostra a viabilidade da aplicação da fotólise direta para a degradação dos antidepressivos e CAF em soluções aquosas contaminadas, no domínio das condições experimentais estudadas. Foi observada maior degradação em matrizes complexas como esgoto e águas superficiais, indicando que a persistência depende também de espécies dissolvidas capazes de fazerem parte dos mecanismos de degradação.

Os resultados obtidos empregando luz solar sugerem a persistência dos microcontaminantes investigados quando expostos apenas a esta fonte de radiação no ambiente. A incidência de radiação solar varia com as estações do ano e a condição meteorológica, criando cenários específicos em que a possibilidade de fotólise natural é variável ou incerta. A cinética de degradação observada foi condizente com o modelo de pseudo-primeira ordem e a determinação dos tempos de meia vida apresentou semelhanças com alguns estudos pioneiros já realizados, apesar da dificuldade de comparação quanto à variação das condições experimentais.

REFERÊNCIAS

ALAPI, T.; DOMBI, A. Comparative study of the UV and UV/VUV-induced photolysis of phenol in aqueous solution. **Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry**, v. 188, n. 2-3, p. 409-418, 2007.

ANDREOZZI, R.; RAFFAELE, M.; NICKLAS, P. Pharmaceuticals in STP effluents and their solar photodegradation in aquatic environment. **Chemosphere**, v. 50, n. 10, p. 1319-1330, 2003.

BENITEZ, F. J.; REAL, F. J.; ACERO, J. L.; CASAS, F. Degradation of Amitriptyline Hydrochloride, Methyl Salicylate and 2-Phenoxyethanol in Water Systems by the Combination UV/Cl2. **International Journal of Chemical, Molecular, Nuclear, Materials and Metallurgical Engineering**, v. 10, n. 8, p. 1044-1048, 2016.

BLUM, K. **Phototransformation of pharmaceuticals in the environment: Multivariate modeling and experimental determination of photolysis half-lives** (Master) Umeå University (http://umu.divaportal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A632013&dswid=7516). 2013. Acesso em 15 nov 2016.

BOREEN, A. L.; ARNOLD, W. A.; MCNEILL, K. Photodegradation of pharmaceuticals in the aquatic environment: A review. **Aquatic Sciences - Research Across Boundaries**, v. 65, n. 4, p. 320-341, 2003.

BRCAR, T. **Preučevanje kinetike fotorazgradnje sertralina v vodi**. Magistrska Naloga (Master). Fakulteta Za Farmacijo, Univerza v Ljubljani Ljubljana. 2015

BUSCHMANN, J.; CANONICA, S.; LINDAUER, U.; HUG, S. J.; SIGG, L. Photoirradiation of Dissolved Humic Acid Induces Arsenic (III) Oxidation. **Environmental Science & Technology**, v. 39, n. 24, p. 9541-9546, 2005.

CANONICA, S.; FREIBURGHAUS, M. Electron-Rich Phenols for Probing the Photochemical Reactivity of Freshwaters. **Environmental Science & Technology**, v. 35, n. 4, p. 690-695, 2001.

CARLSON, J. C.; STEFAN, M. I.; PARNIS, J. M.; METCALFE, C. D. Direct UV photolysis of selected pharmaceuticals, personal care products and endocrine disruptors in aqueous solution. **Water Research**, v. 84, p. 350-361, 2015.

COSTA JUNIOR, I. L.; PLETSCH, A. L.; TORRES, Y. R. Occurrence of Antidepressant Drugs in the Environment - A Review. **Revista Virtual de Química**, v. 6, n. 5, 2014.

GIANNAKIS, S.; HENDAOUI, I.; JOVIC, M.; GRANDJEAN, D.; FELIPPE DE ALENCASTRO, L.; GIRAULT, H.; PULGARIN, C. Solar photo-Fenton and UV/H2O2 processes against the antidepressant Venlafaxine in urban wastewaters and human urine. Intermediates formation and biodegradability assessment. **Chemical Engineering Journal**, 2016.

HORSING, M.; KOSJEK, T.; ANDERSEN, H. R.; HEATH, E.; LEDIN, A. Fate of citalopram during water treatment with O3, ClO2, UV and Fenton oxidation. **Chemosphere**, v. 89, n. 2, p. 129-35, 2012.

HYLAND, K. C.; DICKENSON, E. R.; DREWES, J. E.; HIGGINS, C. P. Sorption of ionized and neutral emerging trace organic compounds onto activated sludge from different wastewater treatment configurations. **Water Resear**ch, v. 46, n. 6, p. 1958-68, 2012.

INPE. **Divisão de satélites e Sistemas Ambientais**. Índice ultravioleta. em: < http://pyata.cptec.inpe.br/uv/>. Acesso em: 16 jun 2016.

ISIDORI, M.; LAVORGNA, M.; NARDELLI, A.; PASCARELLA, L.; PARRELLA, A. Toxic and genotoxic evaluation of six antibiotics on non-target organisms. **Science of The Total Environment**, v. 346, n. 1-3, p. 87-98, 2005.

JACOBS, L. E.; WEAVERS, L. K.; HOUTZ, E. F.; CHIN, Y.-P. Photosensitized degradation of caffeine: Role of fulvic acids and nitrate. **Chemosphere**, v. 86, n. 2, p. 124-129, 2012.

KEEN, O. S.; MCKAY, G.; MEZYK, S. P.; LINDEN, K. G.; ROSARIO-ORTIZ, F. L. Identifying the factors that influence the reactivity of effluent organic matter with hydroxyl radicals. **Water Research**, v. 50, p. 408-419, 2014.

KHALEEL, N. D. H.; MAHMOUD, W. M. M.; OLSSON, O.; KÜMMERER, K. UV-photodegradation of desipramine: Impact of concentration, pH and temperature on formation of products including their biodegradability and toxicity. **Science of The Total Environment**, v. 566-567, p. 826-840, 2016.

KOSJEK, T.; HEATH, E. Tools for evaluating selective serotonin re-uptake inhibitor residues as environmental contaminants. **TrAC Trends in Analytical Chemistry**, v. 29, n. 8, p. 832-847, 2010.

KWON, J.-W.; ARMBRUST, K. L. Degradation of Citalopram by Simulated Sunlight. **Environmental Toxicology and Chemist**ry, v. 24, n. 7, p. 1618, 2005.

LAJEUNESSE, A.; BLAIS, M.; BARBEAU, B.; SAUVE, S.; GAGNON, C. Ozone oxidation of antidepressants in wastewater -Treatment evaluation and characterization of new by-products by LC-QToFMS. **Chemistry Central Journal**, v. 7, n. 1, p. 15, 2013.

LAM, M. W.; YOUNG, C. J.; BRAIN, R. A.; JOHNSON, D. J.; HANSON, M. A.; WILSON, C. J.; RICHARDS, S. M.; SOLOMON, K. R.; MABURY, S. A. Aquatic Persistence of Eight Pharmaceuticals in a Microcosm Study. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 23, n. 6, p. 1431, 2004.

LAM, M. W.; YOUNG, C. J.; MABURY, S. A. Aqueous Photochemical Reaction Kinetics and Transformations of Fluoxetine. **Environmental Science & Technology,** v. 39, n. 2, p. 513-522, 2005.

LAUER, E.; ROSS, M. **Photodecomposition of Fluoxetine. Pharmaceuticals and Personal Care Products in Surface Water**. Collegeville, Minnesota.: The College of Saint Benedict/Saint John's University 2005.

LI, H.; SUMARAH, M. W.; TOPP, E. Persistence of the tricyclic antidepressant drugs amitriptyline and nortriptyline in agriculture soils. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 32, n. 3, p. 509-516, 2013.

MARQUES, R. R. N.; SAMPAIO, M. J.; CARRAPIÇO, P. M.; SILVA, C. G.; MORALES-TORRES, S.; DRAŽIĆ, G.; FARIA, J. L.; SILVA, A. M. T. Photocatalytic degradation of caffeine: Developing solutions for emerging pollutants. **Catalysis Today**, v. 209, p. 108-115, 2013.

OPPENLÄNDER, T. **Photochemical Purification of Water and Air: Advanced Oxidation Processes (AOPs)-Principles, Reaction Mechanisms, Reactor Concepts**. John Wiley & Sons, 2003.

PARSONS, S. **Advanced Oxidation Processes for Water and Wastewater Treatment**. London: IWA Publishing, 2005.

RÚA-GÓMEZ, P. C.; PÜTTMANN, W. Degradation of lidocaine, tramadol, venlafaxine and the metabolites O-desmethyltramadol and O-desmethylvenlafaxine in surface waters. **Chemosphere**, v. 90, n. 6, p. 1952-1959, 2013.

SIM, W. J.; LEE, J. W.; OH, J. E. Occurrence and fate of pharmaceuticals in wastewater treatment plants and rivers in Korea. **Environmental pollution**, v. 158, n. 5, p. 1938-47, 2010.

SLIWKA-KASZYNSKA, M.; JAKIMSKA, A. Environmental Fate of Two Psychiatric Drugs, Diazepam and Sertraline: Phototransformation and Investigation of their Photoproducts in Natural Waters. **Journal of Chromatography & Separation Techniques**, v. 5, n. 6, 2014.

STURINI, M.; SPELTINI, A.; MARASCHI, F.; PROFUMO, A.; PRETALI, L.; FASANI, E.; ALBINI, A. Photochemical Degradation of Marbofloxacin and Enrofloxacin in Natural Waters. **Environmental Science & Technology**, v. 44, n. 12, p. 4564-4569, 2010.

SUBEDI, B.; LEE, S.; MOON, H. B.; KANNAN, K. Psychoactive pharmaceuticals in sludge and their emission from wastewater treatment facilities in Korea. **Environmental science & technology**, v. 47, n. 23, p. 13321-9, 2013.

VERLICCHI, P.; AL AUKIDY, M.; ZAMBELLO, E. Occurrence of pharmaceutical compounds in urban wastewater: removal, mass load and environmental risk after a secondary treatment--a review. **The Science of the total environment**, v. 429, p. 123-55, 2012.

ZHANG, Q.; LI, C.; LI, T. Rapid Photocatalytic Degradation of Methylene Blue under High Photon Flux UV Irradiation: Characteristics and Comparison with Routine Low Photon Flux. **International Journal of Photoenergy**, v. 2012, p. 1-7, 2012.

CAPÍTULO 15

AVALIAÇÕES ECOTOXICOLÓGICAS DE CONTAMINAÇÕES CAUSADAS POR BIFENILAS POLICLORADAS: UMA REVISÃO

Data de aceite: 01/04/2022
Data de submissão: 25/02/2022

Rhayane Andrade Junior
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Goiânia – Goiás
http://lattes.cnpq.br/3127596555756938

Rosana Gonçalves Barros
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Goiânia – Goiás
http://orcid.org/0000-0003-4007-3450

Viníciu Fagundes Barbara
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Goiânia – Goiás
http://orcid.org/0000-0001-9243-5543

RESUMO: Pertencente ao grupo de poluentes orgânicos persistentes (POPs), as Bifenilas Policloradas (PCBs), conhecidas no Brasil pelo nome comercial Ascarel, estão com a produção e o comércio proibidos a nível global, dado seu potencial de contaminação ambiental. Embora a Ecotoxicologia seja uma área do conhecimento capaz de auxiliar na obtenção de repostas científicas mais precisas sobre os impactos sistêmicos dos PCBs no meio natural, estudos com esse enfoque ainda são escassos. O presente trabalho objetivou rever a literatura de forma sistemática visando identificar os estudos científicos publicados internacionalmente que envolveram avaliações ecotoxicológicas de compartimentos ambientais contaminados por PCBs. Para tanto, foi utilizada a base de dados da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). Os oito artigos selecionados demonstraram que a integralidade das pesquisas foi desenvolvida na Eurásia, mediante a realização de bioensaios agudos e crônicos. A maioria dos testes ecotoxicológicos contemplaram a análise de solos e sedimentos e foi realizada com apenas uma espécie de organismo-teste, sendo que somente dois autores utilizaram análises multiespécies. Também restou evidenciado que estudos com essa abordagem ainda são escassos e recentes em todo o mundo, embora o interesse pelo tema tenha aumentado nos últimos anos.

PALAVRAS-CHAVE: Ascarel, bioensaios, transformadores de energia, toxicidade, poluentes orgânicos persistentes.

ECOTOXICOLOGICAL ASSESSMENTS OF CONTAMINATIONS CAUSED BY POLYCHLORINATED BIPHENYLS: A REVIEW

ABSTRACT: Belonging to the group of persistent organic pollutants (POPs), Polychlorinated Biphenyls (PBs), known in Brazil by the trade name Ascarel, are with production and trade banned globally, given their potential for environmental contamination. Although Ecotoxicology is an area of knowledge capable of assisting in obtaining more precise scientific responses on the systemic impacts of PBs in the natural environment, studies with this focus are still scarce. The present work aimed to review the

literature in a systematic way aiming to identify the scientific studies published internationally that involved ecotoxicological assessments of environmental compartments contaminated by PBs. For this purpose, the database of the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). The eight articles selected showed that the entire research was developed in Eurasia through the development of acute and chronic bioassays. Most of the ecotoxicological tests contemplated the analysis of soils and sediments and were performed with only one species of test organism, where only two authors used multi-species analysis. It also remained evident that studies with this approach are still scarce and recent around the world, although interest in the subject has increased in recent years.
KEYWORDS: Askarel, bioassays, energy transformers, toxicity, persistent organic pollutants.

1 I INTRODUÇÃO

O setor elétrico nacional vem alcançando sucessivas revisões e mudanças visando melhorias no atendimento às necessidades da sociedade (MERCEDES, RICO e POZZO, 2015), se dividindo em três etapas: geração (DOROCHE e ANSCHAU, 2015), transmissão (TOZEI, VIEIRA e MATTOS, 2014) e distribuição (DANIEL NETTO e HENKES, 2015). Especificamente, uma das principais fases do processo de distribuição é dada por transformadores de potência e capacitores nas subestações, componentes essenciais utilizados na redução ou elevação da tensão elétrica (OLIVARES-GALVAN *et al.,* 2011; HASAN, 2017). Devido ao alto custo do equipamento, o uso de um sistema de isolamento e refrigeração que garanta sua durabilidade e funcionamento é essencial, como o óleo mineral isolante (OMI) (ANTONELLO *et al.,* 2007). Todavia, capacitores e transformadores antigos ainda fazem o uso do óleo ascarel nesse processo, uma bifenila policlorada (PCB) que possui em sua composição química um alto valor de cloro, substância de elevado nível de toxicidade ambiental, o que tem provocado sua gradual substituição por materiais menos agressivos (MELO *et al.,* 2011).

Os PCBs constituem um conjunto de óleos sintéticos composto por substâncias organocloradas, sendo que uma molécula pode variar consideravelmente no que se refere à quantidade de cloro em sua estrutura. Enquadram-se como substâncias sintéticas compondo os doze poluentes orgânicos persistentes (POPs) no âmbito da Convenção de Estocolmo (MARCÍLIO *et al.,* 2014). Devido à sua baixa degradabilidade, compõem um grupo de substâncias altamente conservativas/persistentes no ambiente, se bioacumulando nos organismos, com biomagnificação ao longo da cadeia alimentar (CETESB, 2012). Adicionalmente, contêm propriedades tóxicas, são persistentes à degradação e o seu transporte pode ocorrer pelo ar, água e por intermédio de espécies migratórias, sendo muitas vezes depositados em locais distantes da região de origem (CONVENÇÃO DE ESTOCOLMO, 2005).

Como os PCBs não são biodegradáveis, ao serem introduzidos no meio ambiente podem permanecer intactos por vários anos (SILVA, TORRES e MALM, 2007; MOHR e COSTABEBER, 2012; FERREIRA, G., *et al.,* 2016). Especificamente, as partículas de

ascarel podem ser transportadas até corpos hídricos, possibilitando que organismos sejam expostos por intermédio da ingestão e/ou contato dermal, bioacumulando essas substâncias químicas e disponibilizando-as ao ser humano via cadeia alimentar (DEKONING e KARMAUS, 2000; CHATZIKOSMA e VOUDRIAS, 2007; SOBEK *et al.,* 2015; TREMOLADA *et al.,* 2015), desencadeando doenças graves (SOUZA e SMITH, 2013).

Segundo Maziero, Rogero e Alemany (2016), a Ecotoxicologia constitui uma área do conhecimento que estuda as implicações ocasionadas por agentes químicos sobre a dinâmica de organismos, populações e comunidades integrantes de ecossistemas estabelecidos, e que possibilita avaliar, inclusive, os níveis tróficos mais sensíveis. Montagner, Vidal e Acayaba, (2017) complementam que pesquisas ecotoxicológicas procuram respostas para os efeitos notados, de modo a entender os mecanismos de ação e a indicar valores que resguardam a qualidade ambiental, o que pode ser aplicado principalmente em análises de potenciais ecotoxicológicos de POPs.

Assim, o presente estudo objetivou revisar a literatura internacional de forma sistemática, a fim de identificar pesquisas que contemplaram o desenvolvimento de análises ecotoxicológicas voltadas para a mensuração dos efeitos potenciais de PCBs sobre compartimentos ambientais.

2 I METODOLOGIA

O trabalho consistiu em uma revisão sistemática de artigos científicos publicados internacionalmente que contemplaram o desenvolvimento de análises ecotoxicológicas voltadas para a mensuração dos efeitos potenciais de PCBs sobre compartimentos ambientais. Para tanto, foi utilizada a base de dados do Portal de Periódicos de Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), fundada pelo Ministério da Educação do Brasil (MEC). Os descritores utilizados simultaneamente no campo 'Buscar Assunto' na plataforma de acesso da CAPES foram 'polychlorinated biphenyls', 'ecotoxicology', 'PCB', 'mineral oil' e 'toxicology'. A pesquisa foi realizada em março de 2020 e abrangeu trabalhos publicados entre os anos de 1920 e 2020.

As ocorrências obtidas foram preliminarmente analisadas mediante a averiguação do título, resumo e palavras-chaves, visando verificar se o objetivo e a metodologia predominantes de cada pesquisa se encaixavam no propósito do presente trabalho. Na sequência, os artigos selecionados foram analisados na íntegra, fichados e organizados em tabelas, de forma a facilitar a discussão teórica de seus respectivos conteúdos.

3 I RESULTADOS E DISCUSSÃO

A busca preliminar resultou em 54 ocorrências que, após devidamente analisadas quanto aos seus objetivos e metodologias predominantes, resultaram em oito trabalhos que

efetivamente se encaixaram na proposta deste estudo, descritos na Tabela 1.

O trabalho mais antigo identificado foi o de Fouchécourt, Berny e Rivière (1998), que desenvolveram um estudo com ratos da espécie *Sprague dawley* expostos durante 72 horas a uma amostra de solo contaminado por PCBs, na concentração de 207 ppm (partes por milhão). Foram coletadas seis amostras de solos poluídos de uma área industrial localizada na França. Os pesquisadores constataram que os índices das substâncias químicas de interesse nos pulmões e no fígado dos animais expostos correspondiam às encontradas em camundongos selvagens (0,2 até 6 ppm) que viviam em locais contaminados, comprovando a bioacumulação dos PCBs. Os resultados mostraram que os poluentes dos solos contaminados por PCBs são biodisponíveis para mamíferos, considerando a contaminação dos ratos em exposição por um período de apenas três dias. Nesse sentido, Selivanovskaya e Latypova (2003) destacam que estudos de toxicidade ambiental necessitam considerar a questão da biodisponibilidade, aspecto fundamental que interfere diretamente nos resultados advindos de experimentos ecotoxicológicos.

Autor (ano)	**Compartimento ambiental avaliado**	**Espécie(s) utilizada(s)**	**Duração do bioensaio**
Fouchécourt, Berny e Rivière (1998)	Solo	*Sprague dawley*	72 horas
Mdegela *et al.* (2009)	Água e Sedimento	*Macrobrachium rude* *Clarias gariepinus* *Oreochromis urolepis*	1h e 9min
Aslund, Simpson e Simpson (2011)	Solo	*Eisenia fetida*	48 horas
Ben-Kheder *et al.* (2012)	Água e Sedimento	*Carcinus maenas*	72 horas
Thomas *et al.* (2014)	Água e Sedimento	*Dreissena polymorpha*	2 meses
Zhang *et al.* (2015)	Solo	*Anabaena* PD-1	7 dias
Cûcâk *et al.* (2017)	Água e Sedimento	*Artemia salina*	24 horas
		Aliivibrio fischeri	24 horas
		Daphnia magna	48 horas
Lászlová *et al.* (2018)	Sedimento	*Achromobacter xylosoxidans*	21 dias

Tabela 1: Aspectos ecotoxicológicos dos trabalhos selecionados, apresentados em ordem cronológica.

Mdegela *et al.* (2009) avaliaram o impacto dessas substâncias em ecossistemas aquáticos na Tanzânia mediante a análise de águas superficiais, sedimentos, peixes e camarões dulcícolas capturados em trechos de corpos hídricos e pântanos localizados nos arredores da cidade de Morogoro, além da barragem Mindu, responsável pelo abastecimento da cidade e regiões adjacentes, totalizando 14 pontos aleatórios de

amostragem. Os organismos-teste pertenciam às espécies *Macrobrachium rude*, *Clarias gariepinus* e *Oreochromis urolepis*. O trabalho demonstrou que as concentrações se mostraram insignificantes, levando à conclusão de que não contribuem de forma significativa como poluentes para a população. Em seus estudos, Mwevura, Othman e Mhehe (2002) destacaram que apesar da substância ter sido encontrada nas espécies analisadas, a mesma não apresentava riscos toxicológicos significativos para a população local.

Aslund, Simpson e Simpson (2011) analisaram o grau de toxicidade de PCBs em minhocas da espécie *Eisenia fetida*, expostas durante 48 horas a solos artificiais contaminados com PCBs. O principal resultado obtido foi que os PCBs interromperam o metabolismo de carboidratos nos organismos, tendo sido constatada a variação brusca de ATP, betaína e valina nas minhocas expostas ao solo com maior concentração de PCB, em relação aos demais experimentos. O estudo também comprovou que o 1H NMR metabolómico de D2O-buffer extraído dos metabólitos de minhocas pode ser conveniente para o monitoramento direto da biodisponibilidade e toxicidade dos PCBs no solo, em comparação com pesquisas mais longas.

Ben-Khedler *et al.* (2012) se propuseram a analisar os efeitos de PCBs em *Carcinus maenas*, além da contaminação de água e sedimentos na lagoa de Bizerta, Tunísia. Foram medidos o índice de contaminação de PCBs nas brânquias e na glândula do sistema digestivo de caranguejos expostos durante três dias em um teste de toxicidade crônica. Os pesquisadores comprovaram maiores índices de PCBs em dois pontos amostrais, sendo que os efeitos nos organismos-teste variaram bastante, com altos índices de contaminantes nas guelras e glândulas digestivas. Isso provavelmente ocorreu devido às diferenças entre os níveis de metais e hidrocarbonetos disponibilizados no ambiente pelas outras atividades desenvolvidas no local.

Thomas *et al.* (2014) analisaram mexilhões-zebra (*Dreissena polymorpha*) do rio Drava, na Croácia, em uma área poluída e uma de referência. Adicionalmente, os organismos-teste também foram expostos a PCBs em ambiente laboratorial durante dois meses, em teste de toxicidade crônico. Embora não tenham sido encontradas diferenças significativas no DNA das duas populações, foi constatado um aumento de danos nos micronúcleos em hemócitos nos mexilhões oriundos de águas contaminadas, o que pode ser explicado pela diminuição na aptidão desses animais causada pelos poluentes aos quais foram expostos. O estudo comprovou como vantagem principal a viabilidade de mensurar os efeitos na genética dos mexilhões a diversos pontos de organização biológica, com a aplicação de um sistema temporal e econômico com uso das três metodologias bem constituídas.

Em Hangzhou, na China, Zhang *et al.* (2015) estudaram o impacto da cianobactéria *Anabaena* PD-1 em solos utilizados para o cultivo de arroz contaminados por PCBs. As amostras foram inseridas em um meio sem cloro para determinar a habilidade de degradação dos organismos em relação aos PCBs. O trabalho concluiu que, após sete

dias, as amostras expostas à *Anabaena* PD-1 tiveram uma redução no grupo de controle de clorofilas de 3,7% e 11,7% na concentração de íons cloretos. A *Anabaena* demonstrou a capacidade de degradação de PCBs, evidenciando o estudo como uma nova forma de remediação de solos contaminados por PCBs.

Por sua vez, Čučak *et al.* (2017) estudaram sedimentos e águas superficiais no complexo Pančevo, na Sérvia. A análise de sedimentos objetivou detectar a situação de poluentes (incluindo PCBs) ao longo dos anos, utilizando, entre outros, matéria seca e orgânica. Em uma análise multiespécies, foram utilizados exemplares de *Artemia salina e Aliivibrio fischeri* expostos durante 24 horas aos compartimentos contaminados, e *Daphnia magna* durante 48 horas. Os resultados, quando comparados aos de Andrade e Costa (2008) e Markou e Georgakakis (2011), por exemplo, demonstraram diminuição no nível de poluição, provavelmente devido à degradação natural dos componentes tóxicos, dadas as elevadas colônias de bactérias que se desenvolveram nos meios de cultura.

Lászlová *et al.* (2018) pesquisaram os efeitos de saponina não iônica e aniônica (Rhamnolipids R-90) na biodegradação de Delor 103. Para tanto, obtiveram amostras de sedimentos envelhecido advindos do canal Strážsky de resíduos industriais, antigo produtor de PCBs da Eslováquia (1959-1984). Para tanto, foram aplicadas cepas bacterianas *Achromobacter xilosoxidanos* que degradam PCB, isoladas em contato com o solo contaminado durante 21 dias, utilizando o método de toxicidade aguda. O estudo demonstrou que a adição de saponina e R-90 aumentaram em 55% e 60% as taxas de biodegradação de PCBs.

Em linhas gerais, em termos de compartimentos ambientais, os trabalhos pesquisados se concentraram na análise de águas superficiais, solos e sedimentos, não tendo contemplado águas subterrâneas, o que representa um nicho de pesquisa a ser explorado pela comunidade científica. Essa priorização investigativa pode ser explicada porque o descarte ambientalmente inadequado, acidentes de percurso, incêndios e a falta de manutenção de transformadores e capacitores contaminados por PCBs expõem primeiramente as águas superficiais, solos e sedimentos aos efeitos potencialmente degradantes dessas substâncias (BRILHANTE e CALDAS, 2004; CHATZIKOSMA e VOUDRIAS, 2007). Adicionalmente, no caso específico das águas superficiais, há maior risco de exposição humana. Em relação ao solo, Chen *et al.* (2014) concluíram em seu estudo que solos agrícolas de áreas de reciclagem de resíduos eletrônicos necessitam receber mais atenção com respeito à contaminação por PCBs, dada sua persistência e mobilidade de longo prazo.

De acordo com Pompêo, Silva e Paiva (2015), investigações englobando apenas uma espécie podem implicar na baixa confiabilidade dos resultados devido à sensibilidade dos organismos, que, se não forem selecionados adequadamente, tenderão a representar riscos potenciais super ou subdimensionados. Por outro lado, ensaios ecotoxicológicos multiespécies não necessariamente garantem a obtenção de resultados mais confiáveis,

tendo em vista que a escolha dos organismos também pode ser equivocada. Contudo, ainda assim potencializam o espectro representativo dos diferentes níveis tróficos investigados.

Para Magalhães e Ferrão Filho (2008), independentemente da quantidade de espécies, o mais relevante é que testes ecotoxicológicos sejam desenvolvidos utilizando organismos indicadores que possuam comprovada sensibilidade a substâncias químicas (PASSARELI, ABESSA e CESAR, 2019). No caso específico dos trabalhos analisados, verificou-se que nenhum dos organismos foi utilizado em mais de um estudo, o que ilustra a ampla variedade de possibilidades experimentais possíveis (ALVES e SILVANO, 2006).

Em relação ao tipo de bioensaio realizado, se agudo ou crônico, é necessário que esse recorte metodológico esteja alinhado com o nível de segurança mínimo pretendido em relação aos resultados almejados. Isso porque, enquanto a toxicidade aguda é determinada por intermédio de ensaios de curta duração, com exposições dos organismos a altas concentrações das substâncias químicas de interesse (FERREIRA, 2003; MAGALHÃES e FERRÃO FILHO, 2008; POMPEO, SILVA e PAIVA, 2015), a crônica possibilita compreender comportamentos dos organismos expostos a baixas concentrações e durante longos períodos de tempo, sendo normalmente medida por interferências subletais, como fisiológicas, morfológicas ou até mesmo reprodutivas (COSTA *et al.,* 2008).

Em termos geográficos, a Tabela 2 apresenta os países e os periódicos onde os artigos analisados foram publicados, incluindo o fator de impacto. Verifica-se que vem ocorrendo o aumento do interesse científico pelo tema em questão, dada a elevação do número de trabalhos publicados internacionalmente nos últimos anos, notadamente a partir de 2014. Todavia, o número de estudos ecotoxicológicos voltados para a análise do potencial de degradação ambiental de PCBs ainda é pequeno, carência enfatizada por Aslund, Simpson e Simpson (2011), Pozzo, Stülp e Costa (2017) e Zhang *et al.* (2015).

Autor (ano)	**País do periódico**	**Nome do periódico (fator de impacto atual)**
Fouchécourt, Berny e Rivière (1998)	França	Archives of Environmental Contamination And Toxicology (2,400)
Mdegela *et al.* (2009)	Tanzânia	Water Air Soil Pollution (1,900)
Aslund, Simpson e Simpson (2011)	Canadá	Ecotoxicology (2,535)
Ben-Kheder *et al.* (2012)	Tunísia	Environ Science and Pollution Research (3,056)
Thomas *et al.* (2014)	Alemanha	BioMed Research International (2,276)
Zhang *et al.* (2015)	China	PLOS ONE (2,740)
Čučak *et al.* (2017)	Sérvia	Environ Science and Pollution Research (3,056)
Lászlová *et al.* (2018)	Eslováquia	Water Air Soil Pollution (1,900)

Tabela 2: Países de publicação dos periódicos, incluindo os fatores de impacto dos periódicos.

Verifica-se que a maior parte dos artigos foi publicada em periódicos científicos de países desenvolvidos, onde os investimentos em educação e ciência são maiores, o que alavanca oportunidades em pesquisas especializadas, principalmente no âmbito ambiental. Para Kuppermann (1994), países em desenvolvimento tendem a investir menos em estudos científicos, principalmente na área ambiental.

4 I CONCLUSÃO

O levantamento realizado evidenciou que embora PCBs sejam substâncias poluentes capazes de gerar impactos ambientais significativos, podendo ser encontradas em diferentes compartimentos ambientais – notadamente na água, solo e sedimentos –, estudos voltados para a compreensão de seus efeitos ecológicos potenciais ainda são escassos no mundo e majoritariamente concentrados em países desenvolvidos, o que representa um importante nicho de pesquisa ser explorado pela comunidade científica nacional. Adicionalmente, foi identificada a necessidade de realização de pesquisas ecotoxicológicas em águas subterrâneas contaminadas por PCBs.

Especificamente em termos ecotoxicológicos, é importante que novos estudos sejam desenvolvidos para que se possa compreender melhor quais são os organismos-teste mais indicados para a mensuração do grau de degradação ambiental potencial dos PCBs, bem como as metodologias dos bioensaios mais adequadas para essa mensuração, elucidando questões como a quantidade mínima de espécies mais indicada e os tipos de ensaios (agudos ou crônicos) mais adequados, visando tornar as respostas obtidas mais seguras, representativas e aplicáveis para fins de gerenciamento ambiental.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, M.R.; COSTA, J.A.V. Cultivo da Microalga Spirulina Platensis em Fontes Alternativas de Nutrientes. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1551-1556, set. 2008.

ANTONELLO, I.; HUMERES, E.; SOUZA, I.G.; DEBACHER, N. A. Determinação de Ascarel em Óleo Isolante de Transformadores. **Química Nova**, São Paulo, v. 30, n. 3, p. 709-711, jan. 2007.

ASLUND, M. L. W.; SIMPSON, A. J.; SIMPSON, M. J. H NMR Metabolomics of Earthworm Responses to Polychlorinated Biphenyl (PCB) Exposure in Soil. **Ecotoxicology**, London, v. 20, p. 836-46, Mar. 2011.

CHATZIKOSMA, D.G.; VOUDRIAS, E.A. Simulation of Polychlorinated Biphenyls Transport in the Vadose Zone. **Environmental Geology**, v. 53, p. 211–220, Jan. 2007.

CHEN, C.; YANG, K.; YU, C.; QIN, Z.; HUANG, R.; TANG, X.; SHEN, C.; SHI, H.; HASHMI, M.Z. Polychlorinated Biphenyls Attenuation in Soil from E-Waste Recycling Area Under Flooded and Dryland Conditions. **CLEAN - Soil Air Water**, Hancheu, v. 190, p. 43-50, Apr. 2014.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Divisão de Toxicologia, Genotoxicidade e Microbiologia Ambiental**. São Paulo: CETESB, 2012.

COSTA, C.R.; OLIVI, P.; BOTTA, C.M.R.; ESPINDOLA, E.L.G. A Toxicidade em Ambientes Aquáticos: Discussão e Métodos de Avaliação. **Química Nova**, São Paulo, v. 31, n. 7, p. 1820-1830, set. 2008.

ČUČAK, D.I.; SPASOJEVIĆ, J.M.; BABIĆ, O.B.; MALETIĆ, S.P.; SIMEUNOVIĆ, J.B.; RONČEVIĆ, S.D.; DALMACIJA, B.D.; TAMAŠ. I.; RADNOVIĆ, D.V. A Chemical and Microbiological Characterization and Toxicity Assessment of the Pančevo Industrial Complex Wastewater Canal Sediments, Serbia. **Environmental Science and Pollution Research**, Servia, v. 24, p. 8458–8468, Feb. 2017.

DEKONING, E.P.; KARMAUS, W. PCB Exposure in Utero and Via Breast Milk. A Review. **Journal of Exposure Analysis and Envariomental Epidemiology**, Lansing, v. 10, p. 285-293, 2000.

DOROCHE, M. R.; ANSCHAU, C.T. Oferta de Energia Elétrica no Brasil. Revista Tecnológica, v. 2, n. 1, p. 402-414, 2015.

FERREIRA, C.M. Testes de Toxicidade Aquática para Monitoramento Ambiental. **Biológico**, São Paulo, v. 65, n. 01, p. 17-18, jan. 2003.

FOUCHÉCOURT, M.O.; BERNY, P.; RIVIÈRE, J.L. Bioavailability of PCBs to Male Laboratory Rats Maintained on Litters of Contaminated Soils: PCB Burden and Induction of Alkoxyresorufin O-Dealkylase Activities in Liver and Lung. **Archives of Envairomental Contamination and Toxicology**, Versalles, v. 35, p. 680–687, 1998.

HASAN, M.I. Using the Transformer Oil-Based Nanofluid for Cooling of Power Distribution Transformer. **International Journal of Energy and Environment**, Nasiriyah, v. 8, n. 3, p. 229-238, May 2017.

KUPPERMANN, A. Investimentos em Ciência e Tecnologia. **Estudos Avançados**, Pasadena, v. 8, n. 20, p. 18-22, abr. 1994.

LÁSZLOVÁ, L.; DUDÁŠOVÁ, H.; OLEJNÍKOVÁ, P.; HORVÁTHOVÁ, G.; VELICKÁ, Z.; HORVÁTHOVÁ, H.; DERCOVÁ, K. The Application of Biosurfactants in Bioremediation of the Aged Sediment Contaminated with Polychlorinated Biphenyls. **Water Air Soil Pollut**, Bratislava, v. 229, n. 219, p. 1-18, Jun. 2018.

MAGALHÃES, D.P.; FERRAZ FILHO, A.S. A Ecotoxicologia Como Ferramenta no Biomonitoramento de Ecossistemas Aquáticos. **Oecologia Brasiliensis**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 3, p. 355-381, 2008.

MARKOU, G.; GEORGAKAKIS, D. Cultivation of Filamentous Cyanobacteria (Blue-Green Algae) in Agro-Industrial Wastes and Wastewaters: A review. **Applied Energy**, Atenas, v. 88, Oct. 2011.

MAZIERO, S. M.; ROGERO, S. O.; ALEMANY, A. Estudo Ecotoxicológico da Nanopartícula de Prata em Daphnia Similis. **Journal of the Health Sciences Institute**, São Paulo, v. 34, n. 03, p. 133-139, 2016.

MDEGELA, R.H., BRAATHEN, M., PEREKA, A. E.; MOSHA, R.D.; SANVIK, J.; SKAARE, J.U. Heavy Metals and Organochlorine Residues in Water, Sediments, and Fish in Aquatic Ecosystems in Urban and Peri-Urban Areas in Tanzania. **Water Air Soil Pollution**, v. 203, p. 369–379, Feb. 2009.

MELO, S.M.; LEAL, J.S.; FIGUEREDO, F.C.; JÚNIOR, J.R.S. Estudo da Aplicação de Óleo Vegetal Como Óleo Isolante em Transformador Elétrico. **Sociedade Brasileira de Química**, 2011.

MERCEDES, S.S.P.; RICO, J.A.P.; POZZO, L.Y. Uma revisão histórica do planejamento do setor elétrico brasileiro. **Revista USP**, São Paulo, n. 104, p. 13-36, 2015.

MOHR, S.; COSTABEBER, I.H. Aspectos Toxicológicos e Ocorrência dos Bifenilos Policlorados em Alimentos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 3, p. 559-566, mar. 2012.

MONTAGNER, C.C.; VIDAL, C.; ACAYABA, R.D. Contaminantes Emergentes em Matrizes Aquáticas do Brasil: Cenário Atual e Aspectos Analíticos, Ecotoxicológicos e Regulatórios. **Química Nova**, São Paulo, v. 40, n. 9, p. 1094-1110, jul. 2017.

MWEVURA, H., OTHMAN, O.C.; MHEHE, G.L. Organochlorine Pesticide Residues in Sediments and Biota from the Coastal Area of Dar es Salaam City, Tanzania. **Marine Pollution Bulleti**, Dar es Salaam, n. 45, p. 262-267, 2002.

OLIVARES-GALVAN, J.C.; ESCARELA-PEREZ, R.; GEORGILAKIS, P.S.; FOFANA, I. Evaluation of distribution transformer banks in electric power systems. **International Transactions on Electrical Energy Systems**, Ciudad de Mexico, v. 23, p. 364-379, 2011.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS – ONU. **Declaração sobre o Meio Ambiente Humano.** Estocolmo, 2005.

PASSARELLI, M.C.; ABESSA, D.M.S.; CESAR, A. Sensitivities of two tropical epibenthic amphipodsto physical chemical variables and reference toxicants. **Ecotoxicology and Environmental Contamination**, v. 14, n. 1, p. 27-33, Jun. 2019.

POMPÊO, M.; SILVA, D.C.V.R.; PAIVA, T.C.B. A Ecotoxicologia no Contexto Atual no Brasil. **Ecologia de reservatórios e interfaces**, São Paulo, v. 22, p. 340-353, 2015.

PORTARIA INTERMINISTERIAL (MIC/MI/MME) nº 019, de 29 de janeiro de 1981, dispõe sobre fabricação e uso de Ascarel. 1981.

POZZO, D.M.; STÜLP, P.C.; COSTA, M.B. Estudo Sobre os Poluentes Orgânicos Persistentes: Bifenilas Policloradas - PCBs. **Revista Científica Semana Acadêmica**, Fortaleza, v. 108, jun. 2017.

SELIVANOVSKAYA, S.Y.; LATYPOVA, V. Z. The use of bioassays for evaluating the toxicity of sewage sludge and sewage sludge-amended soil. Journal of Soils and Sediments, **Landsberg**, v. 3, n. 02, p. 85–92, 2003.

SILVA, C.E.A.; TORRES, J.P.M.; MALM, O. Toxicologia das Bifenilas Policloradas. In: Oecologia Brasiliensis XI, Rio de Janeiro, v. 11, n. 2, p. 179-187, **Anais.** 2007.

SOBEK, A.; SUNDQVIST, K.L.; ASSEFA, A.T.; WIBERG, K. Baltic Sea Sediment Records: Unlikely Near Future Declines in PCBs and HCB. **The Science of the Total Environment**. v. 15, p. 518-519C, Mar. 2015.

SOUZA, S.; SMITH, W.S. Conhecimento Sobre as Legislações e Normas Referentes ás Bifenilas Policloradas (PCB´s): Status Atual e Aplicações Sob a Ótica da Engenharia Ambiental. **Revista Gestão Industrial**, Ponta Grossa, v. 08, n. 01, p. 619-634, 2013.

THOMAS, E.G.; SRUT, M.; STAMBUK, A.; KLOBUCAR, G.I.V.; SEITZ, A.; GRIEBELER, E.M. Effects of Freshwater Pollution on the Genetics of Zebra Mussels (Dreissena Polymorpha) at the Molecular and Population Level. **BioMed Research International**, Mainz, v. 14, abr. 2014.

TOZEI, N.P.; VIEIRA, W.C.; MATTOS, L.B. Efeitos Da Participação De Consórcios Nos Lances e Deságios em Leilões e Transmissão de Energia Elétrica no Brasil. **Economia Aplicada**, Ribeirão Preto, v. 18, n. 1, p. 91-116, 2014.

TREMOLADA, P.; GUAZZONI, N.; COMOLLI, R.; PAROLINI, M.; LAZZARO, S.; BINELLI, A. Polychlorinated Biphenyls (PCBs) in Air and Soil From a High-Altitude Pasture in the Italian Alps: Evidence of CB-209 Contamination. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 22, p. 19571-19583, ago. 2015.

VINÍCIUS NETTO, D.; HENKES, J.A. Sistema de Geração e Distribuição de Energia Por Parte do Operador Nacional do Sistema Brasileiro: ONS O Pêndulo do Desenvolvimento. **Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental**, Florianópolis, v. 3, n. 2, p. 339-362, mar. 2015.

ZHANG, H.; JIANG, X.; LU, L.; XIAO, W. Biodegradation of Polychlorinated Biphenyls (PCBs) by the Novel Identified Cyanobacterium Anabaena PD-1. **Plos One**, Iowa, v. 10, Jul. 2015.

SOBRE O ORGANIZADOR

CLEISEANO EMANUEL DA SILVA PANIAGUA - Technician in Chemistry from the Professional College of Uberlândia (2008), Bachelor of Chemistry from the Federal University of Uberlândia (2010), Degree in Chemistry from the University of Uberaba (2011) and in Biological Sciences from the Faculdade Única (2021). Specialist in Teaching Methodology of Chemistry and Teaching in Higher Education at Faculdade JK Serrana in Brasília (2012), specialist in Teaching Science and Mathematics at Instituto Federal do Triângulo Mineiro (2021). Master in Chemistry from the Federal University of Uberlândia (2015), with emphasis on development of bioadsorbent to remove As (V), Sb (III) and Se (IV) ions in different aquatic matrices. PhD in Chemistry from the Federal University of Uberlândia (2018), with emphasis on Advanced Oxidative Processes [heterogeneous photocatalysis (TiO_2/UV-A and TiO_2/Solar) and H_2O_2/UV-C for removal of contaminants of emerging cocern (CEC) in different aquatic matrices. She carried out her first Post-Doctoral internship (from May 2019 to June 2021) at the Federal University of Uberlândia with an emphasis on the application of new oxidizing agents using solar radiation to remove CEC in effluents from a sewage treatment plant. He is currently carrying out his second Postdoctoral Internship (July 2021 - current) at UFU in the same line of research. Degree in Physics at Faculdade Única (September 2021 to November 2022). He has 11 years of experience as a chemistry technician at the Federal Institute of Goiás, having acted as responsible for the analysis of physical-chemical and biological parameters of water and effluents from a sewage treatment plant. It operates in the following lines of research: (*i*) Development of new methodologies for the treatment and recovery of chemical waste generated in the laboratories of teaching and research institutions; (*ii*) CEC monitoring studies; (*iii*) Development of new advanced technologies for CEC removal in different aquatic matrices; (*iv*) Study and development of new bioadsorbents for environmental remediation of CEC in different aquatic matrices; (*vi* Environmental Education and; (*vii*) literacy and scientific processes in the area of Science of Nature, especially biology and chemistry.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Ação antrópica 147

Água 2, 36, 37, 41, 44, 46, 47, 48, 49, 50, 52, 53, 54, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 96, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 107, 111, 112, 113, 121, 122, 123, 127, 128, 129, 130, 132, 133, 136, 137, 149, 152, 153, 157, 158, 159, 160, 161, 162, 168, 170, 171, 174

Águas superficiais 46, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 64, 149, 150, 151, 161, 163, 170, 172

Antidepressivos 149, 151, 152, 154, 155, 159, 163

Áreas de Transbordo e Triagem (ATT) 24, 25, 26, 27, 31, 32

B

Bacias hidrográficas 47, 63, 123, 131, 140, 141

Back-end 124

Bambu 142, 143, 144, 145, 147

Bifenilas policloradas (PCBs) 167, 176, 177

Bioensaios 167, 174

Biofilme 142, 144, 145, 147

Biota 86, 149, 150, 176

C

Collection 24, 44, 45, 67, 68, 71, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94

Compostagem 3, 19, 20, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43

Conselho Estadual de Política Ambiental e Recursos Hídricos (COPAM/CERH) 147

Construção civil 4, 10, 11, 12, 14, 15, 17, 20, 22, 23, 24, 25, 27, 28, 31, 32

D

Demanda Química de Oxigênio (DQO) 143, 147

E

Ecotoxicologia 167, 169, 175, 176

Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) 142, 143, 147

F

Fármacos 149, 150, 151, 152, 155, 156, 158, 160

Filtro anaeróbio 142, 143

Fluorescent lamps 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73

Fotólise 149, 151, 153, 154, 156, 157, 158, 160, 161, 162, 163

Fototransformação 149

Front-end 124

G

Garbage 75, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 86, 88, 89, 91, 92

Gestão de resíduos 1, 2, 3, 4, 7

Gradiente reduzido generalizado 131, 133, 136

H

Hazardous 65, 66, 72, 73

I

Impactos ambientais 8, 17, 34, 107, 142, 150, 174

Impactos sistêmicos 167

L

Landfills 83, 84, 86, 92, 94

Linguagem de estilo - CSS 124

Linguagem de marcação - HTML 124

M

Meio ambiente 8, 23, 27, 28, 32, 34, 41, 61, 75, 95, 96, 141, 142, 149, 154, 168, 176

Microcontaminantes 149, 151, 157, 163

Modelos hidrológicos 131, 132

Model-View-Controller (MVC) 124

Municipal Solid Waste (USC) 75, 76, 77, 82

O

OnLine Management 75

Organismo-teste 167

P

Patógenos 33

Plano de governo 1, 2, 4

Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) 34, 41

Poluentes emergentes 149, 150

Poluentes Orgânicos Persistentes (POPs) 167, 168, 176

Problemáticas ambientais 1, 2

Produtos farmacêuticos 149

R

Radiação solar 135, 149, 151, 153, 162, 163

Reciclagem 3, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 15, 16, 17, 20, 23, 24, 25, 26, 27, 29, 31, 34, 172

Recursos hídricos 41, 44, 61, 122, 130, 131, 132, 137, 141, 142, 147

Recursos naturais 9, 61

Resíduos alimentares 33, 35, 40

Resíduos da construção e demolição 1, 8, 9, 10, 11, 17, 18, 23, 24, 25, 26, 27

Resíduos orgânicos 33, 34, 35, 42, 43

S

Saneamento básico 2, 7, 60, 63, 64

Segurança cibernética 95, 97, 98, 99, 100, 101, 104, 105, 106, 107

Selective collect 83

Simulador hidráulico 111

Sistema de abastecimento de água 104, 111, 112, 127

Sistema de Esgotamento Sanitário (SES) 44, 46, 59

Softwares 48, 75, 103, 112, 122, 123

T

Tank model 131, 132, 133, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141

Tecnologia da informação 95, 97, 98, 99

Tecnologia operacional 95

Teste de germinação 33, 35, 36

Trucks 75, 76, 78, 79, 81

U

United States Environmental Protection Agency (USEPA) 106, 109

V

Variáveis ambientais 131

W

Water resources 83, 92, 131

www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br
@atenaeditora
www.facebook.com/atenaeditora.com.br

Collection:

APPLIED ENVIRONMENTAL AND SANITARY ENGINEERING 2

Atena Editora
Ano 2022

www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br
@atenaeditora
www.facebook.com/atenaeditora.com.br

Collection:

APPLIED ENVIRONMENTAL AND SANITARY ENGINEERING 2

Atena Editora
Ano 2022